

ISSN 1607-0763 (Print)
ISSN 2408-9516 (Online)

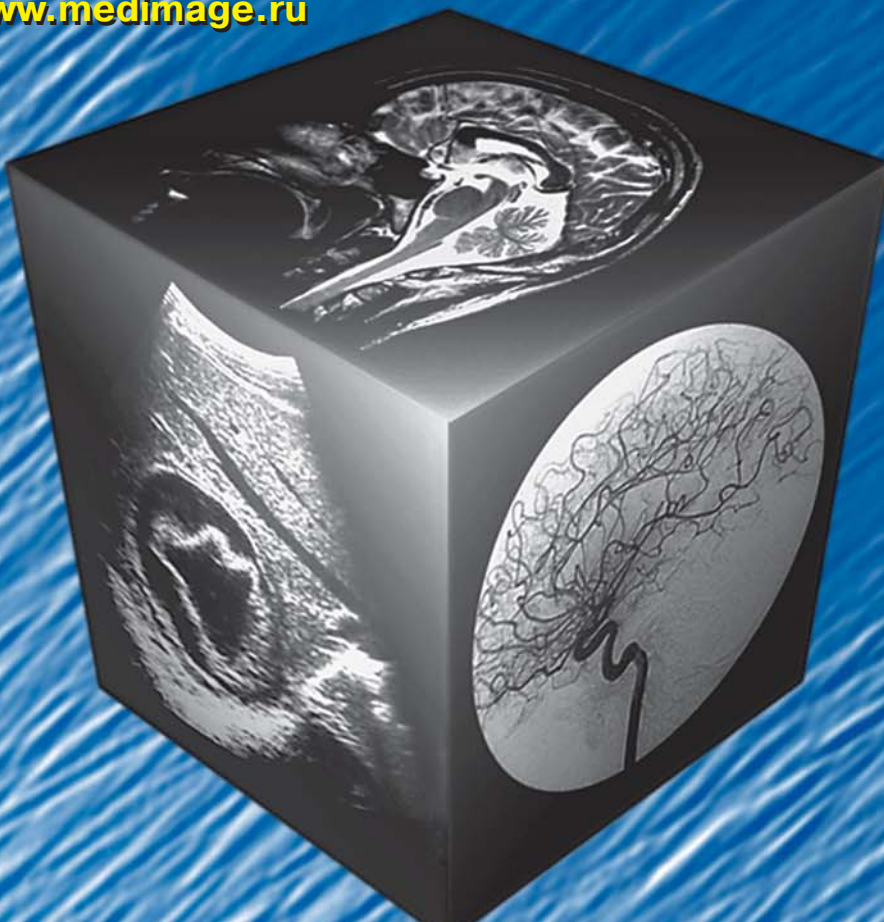
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 29 №2
Vol 29 N2

2025

www.vidar.ru
www.medvis.vidar.ru
www.medimage.ru



- ЭхоКГ при митральной вальвулопатии
- Радиомика в диагностике гистологических форм рака легкого
- КТ в оценке местного распространения рака поджелудочной железы
- МРТ в дифференциальной диагностике липом и липосарком мягких тканей
- УЗИ в диагностике гемоперитонеума у детей
- Медицинская визуализация и искусственный интеллект в диагностике ЗНО

ВИДАР-М

ISSN 1607-0763 (Print)
ISSN 2408-9516 (Online)

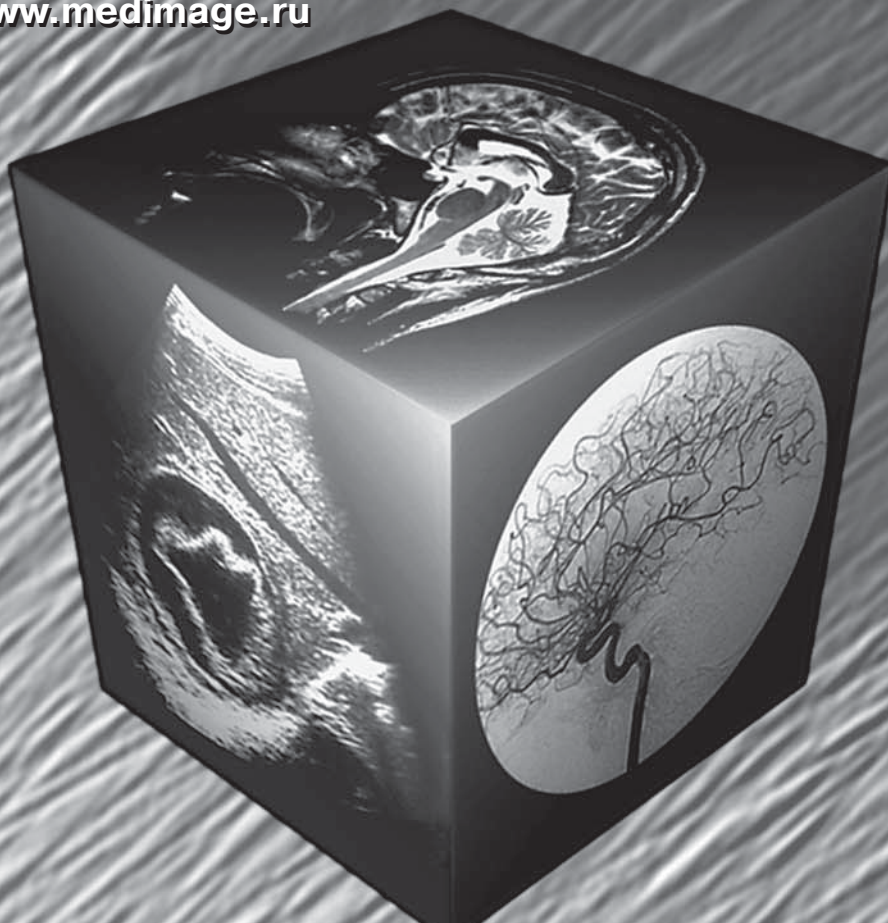
МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Medical Visualization

Том 29 №2
Vol 29 N2

2025

www.vidar.ru
www.medvis.vidar.ru
www.medimage.ru



- ЭхоКГ при митральной вальвулопатии
- Радиомика в диагностике гистологических форм рака легкого
- КТ в оценке местного распространения рака поджелудочной железы
- МРТ в дифференциальной диагностике липом и липосарком мягких тканей
- УЗИ в диагностике гемоперитонеума у детей
- Медицинская визуализация и искусственный интеллект в диагностике ЗНО

ВИДАР-М

МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



Medical Visualization
Meditinskaya vizualizatsiya

2025 Том 29 №2

Научно-практический журнал. Основан в 1997 г.
Выходит 4 раза в год

Официальный
печатный орган

Российского общества рентгенологов и радиологов (129344, Москва, ул. Верхоянская, д. 18, корп. 2)
Общества специалистов по лучевой диагностике (119435, Москва, ул. Большая Пироговская, д. 6)
Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов
и радиологов (125040, Москва, ул. Расковой, д. 16/26, стр. 1)

Издатель

ООО "Видар-М" (109028, Москва, а/я 16)

Главные редакторы

Ревишвили Амиран Шотаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-1791-9163>. Scopus Author ID: 7003940753

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, заместитель директора по научной работе ФГБУ "Российский научный центр рентгенорадиологии" Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053

Заместитель главного редактора

Громов Александр Игоревич – доктор мед. наук, профессор, руководитель группы лучевых методов диагностики и лечения НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000290149022>. Scopus Author ID: 7102053957

Научные консультанты

Каприн Андрей Дмитриевич – академик РАН и РАО, доктор мед. наук, профессор, генеральный директор ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр радиологии" Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Пронин Игорь Николаевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФГАУ "Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко" Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID: 7006011755

Зав. редакцией

Сафонова Татьяна Дмитриевна – канд. мед. наук. E-mail: safonova.td@mail.ru

Редакционная коллегия

Анфиногенова Нина Джоновна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения популяционной кардиологии НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-1106-0730>. Scopus Author ID 15755135700

Араблинский Андрей Владимирович – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО "Первый МГМУ имени И.М. Сеченова" Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>. Scopus Author ID 55446175400

Ахадов Толибджон Абдуллаевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела лучевой диагностики ГБУЗ города Москвы "Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии Департамента здравоохранения города Москвы", Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000308543598>. Scopus Author ID 6701867282

Ахметов Ермек Абибуллаевич – доктор мед. наук, доцент, доцент кафедры онкологии и визуальной диагностики Казахстано-Российского медицинского университета, Алматы, Республика Казахстан.

Борсуков Алексей Васильевич – доктор мед. наук, профессор, директор Проблемной научно-исследовательской лаборатории "Диагностические исследования и малоинвазивные технологии" ФГБОУ ВО "Смоленский государственный медицинский университет" Минздрава России, Смоленск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000340477252>. Scopus Author ID 7801311680

Васильев Юрий Александрович – канд. мед. наук, директор ГБУЗ "Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы", Москва, Российская Федерация.

Вишнякова Марина Валентиновна – доктор мед. наук, заведующая отделением лучевой диагностики ГБУЗ МО "Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского", Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0003-3838-636X>. Scopus Author ID: 6603209206

Ветшева Наталья Николаевна – доктор мед. наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>. Scopus Author ID: 6176616600

Груздев Иван Сергеевич – канд. мед. наук, научный сотрудник отделения рентгеновских и магнитно-резонансных методов исследования ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>. Scopus Author ID: 57209689128.

Гус Александр Иосифович – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID 6508263197

Даутов Таирхан Бекполатович – доктор мед. наук, директор Клинико-академического департамента радиологии и ядерной медицины Университетского медицинского центра, Нур-Султан, Республика Казахстан. <http://orcid.org/0000-0002-5267-0108>. Scopus Author ID 55836811900

Джураева Нигора Мухсумовна – доктор мед. наук, старший научный сотрудник отделения МР- и КТ-диагностики ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент, Республика Узбекистан. <https://orcid.org/0000-0002-2232-8264>

Долгушин Борис Иванович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор НИИ клинической и экспериментальной радиологии ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина” Минздрава России; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ НПО РМАНПО Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Президент Национального общества интервенционных онкорadiологов. <https://orcid.org/0000-0001-7185-7165>. Scopus Author ID: 6604000392

Захарова Наталья Евгеньевна – доктор мед. наук, профессор РАН, профессор Национального медицинского исследовательского центра нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко, профессор кафедры нейрохирургии с курсами нейронаук НМИЦ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-0516-3613>. Scopus Author ID: 36616114800

Икрамов Адхам Ильхамович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской радиологии Центра развития профессиональной квалификации медицинских работников при Минздраве Республики Узбекистан, Ташкент, Республика Узбекистан. Scopus Author ID: 6603001286

Казакова Лариса Васильевна – доктор мед. наук, заведующая отделением ультразвуковой диагностики отдела лучевой диагностики ФБУЗ “Приволжский окружной медицинский центр” ФМБА России, Нижний Новгород, Российская Федерация

Кондратьев Евгений Валерьевич – канд. мед. наук, заведующий отделом рентгеновских и магнитно-резонансных методов исследования ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. Scopus Author ID: 55865664400

Корженкова Галина Петровна – доктор мед. наук, профессор кафедры рентгенологии и радиологии РМАНПО; старший научный сотрудник ФГБУ “НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва, Российская Федерация

Котляров Петр Михайлович – доктор мед. наук, профессор, руководитель научно-исследовательского отдела новых технологий и семиотики лучевой диагностики заболеваний органов и систем ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000319409175>. Scopus Author ID: 7003497625

Лукьянченко Александр Борисович – доктор мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУ “НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-7021-6419>. Scopus Author ID 6507563458

Мазо Михаил Львович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник НЦОРО Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-1313-6420>. Scopus Author ID 25623348800

Мищенко Андрей Владимирович – доктор мед. наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”, Научно-клинический и образовательный центр “Лучевая диагностика и ядерная медицина”; ведущий научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова” Минздрава России, Санкт-Петербург, Российская Федерация. Scopus Author ID: 55791087500

Петряйкин Алексей Владимирович – канд. мед. наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000000316944682>. Scopus Author ID: 7801330975

Прокопенко Сергей Павлович – канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением МНИОИ им. П.А.Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-0369-5755>. Scopus Author ID: 7004120546

Рахимжанова Раушан Ибжановна – доктор мед. наук, профессор, почетная заведующая кафедрой радиологии имени академика Ж.Х. Хамзабаева НАО “Медицинский университет Астана”, Нур-Султан, Республика Казахстан. <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>. Scopus Author ID: 55776205100

Ростовцев Михаил Владиславович – доктор мед. наук, заведующий отделом лучевой диагностики ГБУЗ “Городская клиническая больница имени М.Е. Жадкевича Департамента здравоохранения города Москвы”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-5032-4164>

Рубцова Наталья Алефтиновна – доктор мед. наук, доцент, заведующая отделом лучевой диагностики ФГБУ “Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена” – филиал ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр радиологии” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID: 15844343600

Сафонов Дмитрий Владимирович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики ФДПО “Приволжский исследовательский медицинский университет” Минздрава России, Нижний Новгород, Российская Федерация. Scopus Author ID 55647448500

Синицын Валентин Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела лучевой диагностики факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. Scopus Author ID: 7102735724

Степанова Юлия Александровна – доктор мед. наук, Ученый секретарь ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-2348-4963>. Scopus Author ID 57194482656

Тарачкова Елена Владимировна – канд. мед. наук, ассистент кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. Scopus Author ID 56321456200

Трофимова Татьяна Николаевна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры рентгенологии и радиационной медицины ФГБОУ ВО “СанктПетербургский государственный университет”, СанктПетербург, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. Scopus Author ID: 7006098439

Троян Владимир Николаевич – доктор мед. наук, профессор, начальник Центра лучевой диагностики, главный рентгенолог ФГБУ “Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко” Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-8008-9660>

Туманова Ульяна Николаевна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник, врач-рентгенолог ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-0924-6555>. Scopus Author ID: 55352350200

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, старший научный сотрудник НИИ кардиологии ФГБНУ “Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук”; доцент ФГАОУ “Национальный исследовательский Томский политехнический университет”, НОЦ им. Н.М. Кижнера, Томск, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>. Scopus Author ID: 16937595600

Федорук Алексей Михайлович – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом гепатологии и малоинвазивной хирургии ГУ “Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии”, Минск, Республика Беларусь. Scopus Author ID 56531839500

Фисенко Елена Полиектовна – доктор мед. наук, главный научный сотрудник ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>. Scopus Author ID 6507536162

Хомутова Елена Юрьевна – доктор мед. наук, заведующая кафедрой лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Омский государственный медицинский университет” Минздрава России, Омск, Российская Федерация. Scopus Author ID 57189104536

Хохлов Александр Леонидович – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой клинической фармакологии и этики применения лекарств ЮНЕСКО ФГБОУ ВО “Ярославский государственный медицинский университет” Минздрава России, Ярославль, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-0032-0341>. Scopus Author ID: 7201745706

Хромов-Борисов Никита Николаевич – канд. биол. наук, старший научный сотрудник ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0001-6435-7218>. Scopus Author ID 7003518614

Шейх Жанна Владимировна – доктор мед. наук, профессор, врач-рентгенолог ГБУЗ “Московский многопрофильный научно-клинический центр им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы”; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; профессор кафедры лучевой диагностики Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ “Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна” ФМБА России, Москва, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-1334-6652>. Scopus Author ID 57285215600

Юдин Андрей Леонидович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии медико-биологического факультета ФГБОУ ВО “Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва, Российская Федерация. <http://orcid.org/0000-0002-0310-0889>. Scopus Author ID 7102669707

Nicholas C. Gourtsoyannis – иностранный член РАН, доктор мед. наук, профессор, директор Европейской школы радиологии, Афины, Греция. Scopus Author ID: 24369117700

Rienmüller Rainer – иностранный член РАН, доктор мед. наук, профессор, профессор отделения общей радиологии Медицинского университета Грац, Австрия. <https://orcid.org/0000-0002-6068-5027>. Scopus Author ID 7003654650

Yang Qin – доктор мед. наук, руководитель группы функционально-реконструктивной хирургии пищевода и желудка ГКБ №1 при Медицинском университете Фуцзянь, г.Фуцжоу, Китайская Народная Республика.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС-77-21017 от 12.05.05 г.

Журнал включен ВАК РФ в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Журнал включен в библиографическую и реферативную базу данных **Scopus**.

Адрес для корреспонденции

117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27. НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского (Ревитшвили Амиран Шотаевич)

E-mail: nudnov@rncrg.ru Тел.: +7-495-334-29-60 (Нуднов Николай Васильевич)

<https://medvis.vidar.ru/jour/index>

ООО “Видар-М” 109028, Москва, а/я 16. Контакты: (495) 768-04-34, (495) 589-86-60, <http://www.vidar.ru>

Подписаться на наш журнал вы можете в любом отделении связи (каталог Роспечати, раздел “Здравоохранение. Медицина”), а также в издательстве ООО “Видар”

Материалы этого издания не могут воспроизводиться ни в какой форме без письменного разрешения.

Редактирование Т.И. Луковская
Художники О.А. Рыченкова, А.И. Морозова
Верстка Ю.А. Кушель

“МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ”

© ООО “Видар”, 2025.

Все права сохраняются.

Формат 60 × 90 1/8. Печ. л. 18. Тираж 1500 экз. Свободная цена.
Отпечатано в типографии Onebook.ru (ООО “СамПолиграфист”), www.onebook.ru
Подписано в печать 13.05.2025 г.

MEDICAL VISUALIZATION

Медицинская визуализация
Meditsinskaya vizualizatsiya

2025 V. 29 N2



Quarterly Scientific and Practical Journal
Est. 1997

Official press organ of the

Russian Society of Roentgenologists and Radiologists (18-2, Verkhoyanskaya str., 129344, Moscow, Russian Federation)

Society of specialists in X-ray diagnostics (6, Bo'shaya Pirogovskaya str., 119435, Moscow, Russian Federation)

Moscow regional department of the Russian Society of Roentgenologists and Radiologists

(16/26, bld.1, Raskovoi str., 125040, Moscow, Russian Federation)

Is published by Vidar-M Ltd. (p/b 16, 109028, Moscow, Russian Federation)

Editors-in-Chief

Amiran Sh. Revishvili – Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Director of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1791-9163>. Scopus Author ID: 7003940753

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation, Deputy Director for Science and Research at the Russian Research Center of Radiology, Moscow, Russian Federation. Email: nudnov@rncrr.ru. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. Scopus Author ID: 7004927053

Publishing Editor

Alexander I. Gromov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the group of radiation methods of diagnosis and treatment N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology - branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. Email: gai8@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>. Scopus Author ID: 7102053957

Scientific consultants

Andrey D. Kaprin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Education, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation, General Director of “National Medical Radiological Research Center” of the Ministry of Health of the Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Igor N. Pronin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for the scientific work of the N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID: 7006011755

Chief of office

Tatyana D. Safonova – Cand. of Sci. (Med.). E-mail: safonova.td@mail.ru

Editorial board

Nina J. Anfinogenova – Doct. of Sci. (Med.), leading researcher at the Department of Population Cardiology, Research Institute of Cardiology, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1106-0730>. Scopus Author ID 15755135700

Andrey V. Arablinskiy – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor at the Department of Radiologic Diagnosis and Therapy of N.V. Sklifosovskiy Institute of Clinical Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-0854-3598>. Scopus Author ID 55446175400

Tolibdzhon A. Akhadov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Diagnostic Radiology, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-3235-8854>

Yermek A. Akhmetov – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor at the Department of Oncology and Imaging Kazakh-Russian Medical University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Alexey V. Borsukov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of Problem Research Laboratory “Diagnostic Researches and Mini-invasive Technologies”, Smolensk State Medical University, Smolensk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>. Scopus Author ID 7801311680

Yuri A. Vasiliev – Cand. of Sci. (Med.), Director of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russian Federation.

Marina V. Vishnyakova – Doct. of Sci. (Med.), head of radiology department of Moscow Regional Clinical and Research Institute named after M.F. Vladimirovsky (MONIKI), Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0003-3838-636X> Scopus Author ID: 6603209206

Natalia N. Vetsheva – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>. Scopus Author ID: 6176616600

Ivan S. Gruzdev – Cand. of Sci. (Med.), Researcher of the X-ray and Magnetic Resonance Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>. Scopus Author ID: 57209689128

Alexander I. Gus – Doct. of Sci. (Med.), Professor, principal researcher of Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID 6508263197

Tairkhan B. Dautov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of the Clinical and Academic Department of Radiology and Nuclear Medicine, University Medical Center. Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan. <http://orcid.org/0000-0002-5267-0108>. Scopus Author ID 55836811900

Nigora M. Djuraeva – Doct. of Sci. (Med.), Senior Researcher at the Department of MRI and CT Diagnosis of Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after Academician V. Vakhidov Tashkent, Uzbekistan. <https://orcid.org/0000-0002-2232-8264>

Boris I. Dolgushin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor; Director of the Research Institute of Clinical and Experimental Radiology, National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin; Professor at the Department of Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation; President of the National Society of Interventional Oncoradiologists. <https://orcid.org/0000-0001-7185-7165>. Scopus Author ID: 6604000392

Natalia E. Zakharova – Doct. of Sci. (Med.), professor of Russian Academy of Sciences, professor of N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-0516-3613>. Scopus Author ID: 36616114800

Adkham I. Ikramov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Medical Radiology, Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Workers of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan. Scopus Author ID: 6603001286

Larisa V. Kazakova – Doct. of Sci. (Med.), Head of Ultrasonic Diagnostics at the Department of Radiological Diagnostics in Privolzhsky District Medical Center, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Evgeny V. Kondratyev – Cand. of Sci. (Med.), Head of the X-ray and Magnetic Resonance Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. Scopus Author ID: 55865664400

Galina P. Korzhenkova – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Radiology; radiologist of N.N. Blokhin Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Health of Russian Federation (N.N. Blokhin NMRCO), Moscow, Russian Federation

Peter M. Kotlyarov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Research Department for New Technologies and Semiotics of Diagnostic Radiology in Diseases and Body Systems, Russian Research Center for X-Ray and Radiology, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1940-9175>. Scopus Author ID: 7003497625

Alexander B. Lukianchenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, leading researcher of N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-7021-6419>. Scopus Author ID 6507563458

Mikhail L. Mazo – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher of P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – branch of the National Medical Research Center of Radiology, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-1313-6420>. Scopus Author ID 25623348800

Andrey V. Mishchenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of St. Petersburg State University, Research, Clinical and Educational Center “Diagnostic Radiology and Nuclear Medicine”; leading researcher of N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg, Russian Federation. Scopus Author ID: 55791087500

Alexey V. Petraikin – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, leading researcher at the Department of Innovative Technologies, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>. Scopus Author ID: 7801330975

Sergey P. Prokopenko – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department, P. Hertsen Moscow Oncology Research Institute – branch of the National Medical Research Center of Radiology (Moscow, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0002-0369-5755>. Scopus Author ID: 7004120546

Raushan I. Rakhimzhanova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honorary Head of the Zh.Kh. Khamzabaev Department of Radiology, Astana Medical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan. <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>. Scopus Author ID: 55776205100

Mikhail V. Rostovtsev – Doct. of Sci. (Med.), Head of Radiology department Zhadkevich City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-5032-4164>

Natalia A. Rubtsova – Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Diagnostic Radiology, P.A. Herzen Moscow Research Oncology Institute – branch of “National Medical Research Center of Radiology” of the Ministry of Healthcare of Russia, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID: 15844343600

Dmitry V. Safonov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chairman of the Department of Diagnostic Radiology, Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation. Scopus Author ID 55647448500

Valentin E. Sinitsyn – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Diagnostic Radiology of the Medical Research and Education Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>. Scopus Author ID: 7102735724

Yulia A. Stepanova – Doct. of Sci. (Med.), Academic Secretary of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-2348-4963>. Scopus Author ID 57194482656

Elena V. Tarachkova – Cand. of Sci. (Med.) Assistant Professor Chair of Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation. Scopus Author ID 56321456200

Tat'yana N. Trofimova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor at the Department of Radiology and Radiation Medicine, Pavlov First State Medical University of St. Petersburg, St. Petersburg, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. Scopus Author ID: 7006098439

Vladimir N. Troyan – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Center for Diagnostic Radiology, Chief Radiologist Main military clinical hospital named after academician N.N. Burdenko, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-8008-9660>

Uliana N. Tumanova – Doct. of Sci. (Med.), radiologist, leading researcher of the 2nd pathology department of National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-0924-6555>. Scopus Author ID: 55352350200

Vladimir Yu. Usov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, senior researcher, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Cardiology; Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Kizhner Research Center, Tomsk, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-7352-6068>. Scopus Author ID: 16937595600

Aleksey M. Fedoruk – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Hepatology and Minimally Invasive Surgery, Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology, Minsk, Republic of Belarus. Scopus Author ID 56531839500

Elena P. Fisenko – Doct. of Sci. (Med.), Petrovsky National Research Centre of Surgery (Moscow, Russian Federation), principal researcher, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>. Scopus Author ID 6507536162

Elena Yu. Khomutova – Doct. of Sci. (Med.), Chairman of the Department of Diagnostic Radiology, Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation. Scopus Author ID 57189104536

Aleksandr L. Khokhlov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chairman of the UNESCO Department of Clinical Pharmacology and Ethics of Medicines, Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-0032-0341>. Scopus Author ID: 7201745706

Nikita N. Khromov-Borisov – Cand. of Sci. (Biol.), senior researcher, V.A. Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0001-6435-7218>. Scopus Author ID 7003518614

Zhanna V. Sheikh – Doct. of Sci. (Med.), Professor, radiologist, Botkin City Clinical Hospital (Moscow, Russian Federation); Professor at the Department of Radiology, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Professor at the Department of Diagnostic Radiology, Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (Moscow, Russian Federation), Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education, Moscow, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-1334-6652>. Scopus Author ID 57285215600

Andrey L. Yudin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chairman of the Department of Diagnostic Radiology and Therapy, Medicine and Biology Division, N.I. Pirogov Russian national research medical university, Moscow, Russian Federation. <http://orcid.org/0000-0002-0310-0889>. Scopus Author ID 7102669707

Nicholas C. Gourtsoyiannis – International Member of the Russian Academy of Sciences, M.D., Ph.D., Professor, Director of European School of Radiology, Athens, Greece. Scopus Author ID: 24369117700

Rainer Riemüller – International Member of the Russian Academy of Sciences, M.D., Ph.D., Professor, Professor at the Radiology Department, Medical University of Graz, Graz, Austria. <https://orcid.org/0000-0002-6068-5027>. Scopus Author ID 7003654650

Yang Qin – Ph.D., Head of the Group of Functional Reconstructive Surgery of the Esophagus and Stomach City Clinical Hospital No. 1, Fujian Medical University Fuzhou, China.

Reg. № ПИ № ФС-77-21017, 12.05.05.

The Journal is included in the “List of leading peer-reviewed editions, recommended for publication of Candidate's and Doctor's degree theses main results” approved by Higher Attestation Commission (VAK) RF.

The Journal is included in the **Scopus** bibliographic and abstract database.

For inquiries relating to the publication, please contact:

27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., 117997, Moscow, Russian Federation.

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery (Amiran Sh. Revishvili)

E-mail: nudnov@rncrr.ru Phone: +7-495-334-29-60 (Nikolay V. Nudnov)

<https://medvis.vidar.ru/jour/index>

Vidar Ltd. p/b 16, 109028, Moscow, Russian Federation Phone: +7-495-768-04-34, +7-495-589-86-60, <http://www.vidar.ru>

You can subscribe to the journal at any post office (Rospechat catalogue, section “Public Health. Medicine”) and in the publishing house “Vidar-M” Ltd.

No part of this copyrighted work may be reproduced, modified or distributed, without the prior written permission

Editing T.I. Lukovskaya
Designer O.A. Rychenkova, A.I. Morosova
Prepress Yu.A. Kushel
“MEDICAL VISUALIZATION”
© Vidar Ltd., 2025
All rights reserved

Format 60 × 90 1/8. 18 printer's sheet. Circulation: 1500 ex. Free price.
Printed at Onebook.ru (OOO “SamPoligrafist”), www.onebook.ru
Signed for printing: 13.05.2025



Содержание

Сердце и сосуды

- 10 Конкретизация роли эхокардиографического пособия при проведении баллонной митральной вальвулопластики**
Зуфаров М.М., Им В.М., Хамдамов С.К.

Грудная клетка

- 20 Полисерозит как негативный прогностический фактор COVID-19**
Сукмарова З.Н., Паршин В.В., Шишиморов А.А., Громов А.И.
- 29 Определение гистологического типа рака легких на основе радиомического анализа данных компьютерной томографии**
Солодкий В.А., Нуднов Н.В., Карелидзе Д.Г., Борисов А.А., Султанова П.Н., Иванников М.Е., Шахвалиева Э.С.

Брюшная полость и забрюшинное пространство

- 39 Возможности ультразвукового исследования толстой кишки в определении тяжелого течения и прогноза рецидивов энтероколита, вызванного *Clostridioides difficile***
Пиманов С.И., Руцкая И.А.
- 51 Сложности оценки местной распространенности рака поджелудочной железы с помощью компьютерной томографии после проведения неoadъювантного химиотерапевтического лечения (серия клинических наблюдений и обзор)**
Жарикова А.В., Борискина К.П., Кондратьев Е.В., Сидоров Д.В., Нечаев В.А.

Опорно-двигательный аппарат

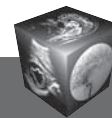
- 60 Особенности КТ- и МРТ-семиотики фосфатурической мезенхимальной опухоли**
Бурякина С.А., Гронская С.А., Тарбаева Н.В., Белая Ж.Е., Мокрышева Н.Г.
- 72 Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике липом и липосарком мягких тканей**
Нуднов Н.В., Харченко Н.В., Аксенова С.П., Уразов А.В., Солодкий В.А., Каприн А.Д.
- 88 Давность переломов костей носа по данным компьютерной томографии в практике судебной экспертизы живых лиц**
Медведева Н.А., Серова Н.С.

Детская рентгенология

- 98 Перфузия и внутринеуральное давление седалищного нерва при сахарном диабете 1 типа в молодом возрасте: мультимодальная оценка (УЗИ, МРТ)**
Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Тонких О.С., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А.
- 108 Оценка информативности ультразвуковой диагностики для определения объема гемоперитонеума у детей**
Пикало И.А., Подкаменев В.В., Карабинская О.А., Марченко Д.В., Акудович Н.В., Михайлов Н.И., Шарапов И.С.

Технологии лучевой диагностики

- 116 Медицинская визуализация и искусственный интеллект при радиотерапии злокачественных опухолей**
Паньшин Г.А., Нуднов Н.В.



Contents

Heart and vessels

- 10 Specification of the role of echocardiographic guidance during balloon mitral valvuloplasty**

Mirjamol M. Zufarov, Vadim M. Im,
Sanzhar K. Khamdamov

Thorax

- 20 Patients monitoring in the City Clinical Hospital No. 52 at the beginning and end of the pandemic**

Zulfiya N. Sukmarova, Alexey A. Shishimorov,
Vasily V. Parshin, Alexander I. Gromov

- 29 Determination of the histological type of lung cancer based on radiomic analysis of computed tomography chest images**

Vladimir A. Solodkiy, Nikolay V. Nudnov,
David G. Karelidze, Aleksandr A. Borisov, Peri N. Sultanova,
Mikhail E. Ivannikov, Elina S.-A. Shakhvalieva

Abdomen and retroperitoneum

- 39 Possibilities of colon ultrasound in determining the severe course and prognosis of recurrent *Clostridioides difficile* colitis**

Sergey I. Pimanov, Iryna A. Rutsкая

- 51 Difficulties in assessing the local prevalence of pancreatic ductal adenocarcinoma using computed tomography after neoadjuvant chemotherapeutic treatment**

Alexandra V. Zharikova, Kseniya P. Boriskina,
Evgeny V. Kondratyev, Dmitry V. Sidorov,
Valentin A. Nechaev

Supporting motor system

- 60 CT and MRI features of phosphaturic mesenchymal tumor**

Svetlana A. Buryakina, Sofia A. Gronskaia,
Natalia V. Tarbaeva, Zhanna E. Belaya,
Natalia G. Mokrysheva

- 72 Magnetic resonance imaging in differential diagnosis lipomas and liposarcomas of soft tissues**

Nikolay V. Nudnov, Natalia V. Kharchenko,
Svetlana P. Aksenova, Alexandr V. Urazov,
Vladimir A. Solodkiy, Andrey D. Kaprin

- 88 Prescription of fractures of the bones of the nose according to computed tomography in the practice of forensic examination of living persons**

Natalia A. Medvedeva, Natalia S. Serova

Pediatric radiology

- 98 Perfusion and intraneural pressure of the sciatic nerve in type 1 diabetes mellitus at a young age: multimodal assessment (ultrasound, MRI)**

Svetlana V. Fomina, Iuliia G. Samoilova,
Olga S. Tonkikh, Marina V. Koshmeleva,
Dmitriy A. Kachanov, Ekaterina I. Trifonova,
Maxim A. Zorkaltsev

- 108 Assessment of the informativeness of ultrasonography for determination of the volume of hemoperitoneum in children**

Iliia A. Pikalo, Vladimir V. Podkamenev,
Olga A. Karabinskaya, Dmitri V. Marchenko,
Natalya V. Akudovich, Nikolai I. Mikhailov,
Ivan S. Sharapov

Radiological technologies

- 116 Medical imaging and artificial intelligence in radiotherapy of malignant tumors**

Georgy A. Panshin, Nikolay V. Nudnov



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1479>

Конкретизация роли эхокардиографического пособия при проведении баллонной митральной вальвулопластики

© Зуфаров М.М., Им В.М.*, Хамдамов С.К.

ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова»; 100115 Ташкент, ул. Кичикхалкайули, д. 10, Республика Узбекистан

Цель исследования: оценка результатов баллонной митральной вальвулопластики (БМВ) стеноза митрального клапана под ультразвуковым контролем, обобщение роли эхокардиографии (ЭхоКГ) в диагностике, лечении митрального стеноза (МС) ревматической этиологии.

Материал и методы. В исследование включено 47 пациентов с МС, которым была выполнена БМВ по методике Inoue с включением ЭхоКГ как дополнительного метода контроля при проведении этапов вмешательства. Большинство пациентов составили женщины – 39 (82,9%). Средний возраст пациентов $49,8 \pm 6,14$ года. Синусовый ритм был у 35 (74,5%) пациентов, у оставшихся 12 (25,5%) была фибрилляция предсердий.

Результаты. Среднее время, затраченное на процедуру (включающее момент от пункции вены до удаления катетера), составило $48,76 \pm 6,48$ мин. Размер баллонного катетера $26,3 \pm 0,91$ мм. Средний трансмитральный градиент снизился с $14,15 \pm 2,75$ мм рт.ст. до $6,1 \pm 1,15$ мм рт.ст. ($p < 0,05$). Среднее давление в легочной артерии снизилось с $28,48 \pm 2,26$ мм рт.ст. до $15,2 \pm 3,68$ мм рт.ст. ($p < 0,05$). Давление в левом предсердии снизилось с $27,86 \pm 3,87$ мм рт.ст. до $13,4 \pm 2,75$ мм рт.ст. ($p < 0,05$) после БМВ. Площадь митрального отверстия до БМВ в среднем составляла $0,95 \pm 0,14$ см², а после БМВ увеличилась до $1,89 \pm 0,25$ см² ($p < 0,05$). Осложнений во время и после процедуры не было. Средняя длительность наблюдения после операции составила $11,35 \pm 1,14$ мес.

Заключение. БМВ является эффективным и безопасным методом лечения МС у отобранных для данной процедуры пациентов. ЭхоКГ является не только основным методом при диагностике МС, но и должна использоваться на всех этапах БМВ. Совершенствование использования ЭхоКГ во время эндоваскулярного вмешательства позволяет значительно снизить рентгенооблучение, а в дальнейшем и полностью избежать его применения.

Ключевые слова: ревматизм; митральный стеноз; баллонная митральная вальвулопластика; эхокардиография; лучевая нагрузка

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Зуфаров М.М., Им В.М., Хамдамов С.К. Конкретизация роли эхокардиографического пособия при проведении баллонной митральной вальвулопластики. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (2): 10–19. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1479>

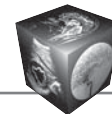
Поступила в редакцию: 26.05.2024. Принята к печати: 22.04.2025. Опубликовано online: 29.04.2025.

Specification of the role of echocardiographic guidance during balloon mitral valvuloplasty

© Mirjamol M. Zufarov, Vadim M. Im*, Sanzhar K. Khamdamov

State Institution "Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov"; 10, Kichikkhalkayuli str., Tashkent 100115, Uzbekistan

Objective: to evaluate the outcomes of balloon mitral valvuloplasty (BMV) for mitral valve stenosis (MVS) performed under ultrasound guidance, and to summarize the role of echocardiography (EchoCG) in the diagnosis and treatment of rheumatic mitral stenosis (MS).



Materials and methods. This study included 47 patients with MS who underwent BMV using the Inoue technique, with echocardiography employed as an auxiliary method for procedural guidance. The majority of patients were women – 39 (82.9%). The mean age was 49.8 ± 6.14 years. Sinus rhythm was present in 35 (74.5%) patients, while atrial fibrillation (AF) was observed in 12 (25.5%).

Results. The mean duration of the procedure (from venous puncture to catheter removal) was 48.76 ± 6.48 minutes. The average size of the balloon catheter was 26.3 ± 0.91 mm. The mean transmitral pressure gradient decreased significantly from 14.15 ± 2.75 mmHg to 6.1 ± 1.15 mmHg ($p < 0.05$). The mean pulmonary artery pressure (PAP) was reduced from 28.48 ± 2.26 mmHg to 15.2 ± 3.68 mmHg ($p < 0.05$). Left atrial (LA) pressure dropped from 27.86 ± 3.87 mmHg to 13.4 ± 2.75 mmHg ($p < 0.05$) after BMV. The mitral valve area (MVA) increased from 0.95 ± 0.14 cm² to 1.89 ± 0.25 cm² ($p < 0.05$). No intraoperative or postoperative complications were observed. The mean follow-up duration was 11.35 ± 1.14 months.

Conclusion. BMV is an effective and safe treatment option for selected patients with MS. Echocardiography not only plays a central role in diagnosing MS but should also be integrated into all stages of the BMV procedure. Enhancing the use of echocardiographic guidance during endovascular intervention can significantly reduce radiation exposure, and potentially eliminate its need altogether in the future.

Keywords: rheumatic fever; mitral stenosis; balloon mitral valvuloplasty; echocardiography; radiation exposure

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Zufarov M.M., Im V.M., Khamdamov S.K. Specification of the role of echocardiographic guidance during balloon mitral valvuloplasty. *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 10–19. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1479>

Received: 26.05.2024.

Accepted for publication: 22.04.2025.

Published online: 29.04.2025.

Введение

Ревматические пороки сердца являются весьма распространенной причиной сердечно-сосудистых заболеваний в мире и особенно в развивающихся странах [1–3]. Причиной развития острой ревматической лихорадки является бета-гемолитический стрептококк группы А (БГА). В дальнейшем развивается аутоиммунная реакция организма, так как антиген БГА имеет схожую структуру с гликопротеином, входящим в структуру ткани клапанов сердца и эндокарда. Поэтому антитела, выработанные самим организмом в ответ на внедрение и воздействие инфекционного агента, начинают “атаковать” собственные ткани.

Ревмокардит является осложнением ревматической лихорадки в 70–85% случаев. Затем острый процесс сменяется хронической ревматической болезнью сердца [4]. В той или иной степени могут поражаться любые сердечные клапаны, однако наиболее часто страдает митральный клапан (МК), что проявляется развитием митрального стеноза (МС). Воспалительный процесс вызывает прогрессирующий фиброз створок клапана, подклапанных структур, что, в конечном счете, приводит к сращению комиссур, укорочению клапанных хорд и сужению просвета митрального отверстия (МО). Все это приводит к изменению внутрисердечной гемодинамики, обусловленному затруднением тока крови из левого предсердия (ЛП) в левый желудочек (ЛЖ). Прогрессирующее сужение МО приводит к снижению толерантности к физической нагрузке, одышке, обусловленным легочной гипертензией, правожелудочковой недостаточностью, развитию отека легких. Вдобавок у больных

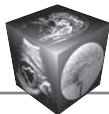
может развиваться фибрилляция предсердий (ФП), тромбоэмболия и смерть [5, 6].

До середины XX века МС лечился сугубо путем проведения кардиохирургической операции – митральной комиссуротомии и протезирования МК. В 1984 г. японский врач К. Иноуэ первым описал методику баллонной митральной вальвулопластики (БМВ), впоследствии названную его именем [7]. За многие годы применения данной методики она зарекомендовала себя эффективной и безопасной в лечении МС [8–11]. Более того, результаты после БМВ оказались аналогичными по частоте рестеноза МК по сравнению с митральной комиссуротомией [12, 13].

Эхокардиография (ЭхоКГ), несомненно, играет определяющую роль в диагностике МС, оценке его состояния, определении дальнейшей тактики лечения, а также в проведении динамического наблюдения [14]. Наряду с этим дальнейшее определение места ЭхоКГ на каждом этапе рентген-эндоваскулярного лечения МС все еще требует подробного изучения.

Методика БМВ по Иноуэ с момента ее разработки в 1984 г. продемонстрировала хорошие непосредственные и отдаленные результаты [15, 16].

Тем не менее не следует забывать об отрицательном воздействии ионизирующего облучения как на пациента, так и медицинский персонал во время проведения рентгенэндоваскулярного вмешательства, даже при применении современного оборудования и методов защиты от рентгенизлучения. Применение контрастного вещества во время процедуры оказывает воздействие на организм, в частности, возможно развитие контра-



стиндуцированной нефропатии, а также аллергической реакции на йодсодержащее вещество. Исходя из вышесказанного, несомненно, следует ограничивать дозу лучевой нагрузки и минимизировать количество применяемого контрастного вещества [17, 18].

Вопросы применения контрастного вещества стоят остро у больных с хронической почечной недостаточностью, а также при проведении рентген-эндоваскулярного вмешательства у беременных пациенток [19, 20]. Учитывая вышеизложенное, проведение БМВ с применением ЭхоКГ и минимизацией рентгенизлучения является актуальной проблемой, требующей дальнейшего решения.

Цель исследования: оценка результатов БМВ стеноза митрального клапана под ультразвуковым контролем, обобщение роли ЭхоКГ в диагностике, лечении митрального стеноза ревматической этиологии.

Материал и методы

В исследование включено 47 пациентов с МС на базе ГУ «РСНПМЦХ имени академика В. Вахидова», которым была выполнена БМВ по методике Inoue с включением ЭхоКГ как дополнительного метода контроля при проведении этапов вмешательства. Большинство пациентов составили женщины – 39 (82,9%). Средний возраст пациентов $49,8 \pm 6,14$ года. Синусовый ритм был у 35 (74,5%) пациентов, у оставшихся 12 (25,5%) была ФП. ЭхоКГ производилась на аппарате Logic P6 (General Electric Healthcare, США).

Согласно критериям включения, в исследование вошли пациенты, которым была показана БМВ согласно данным трансторакальной ЭхоКГ, а именно: возраст старше 18 лет с площадью МО менее $1,5 \text{ см}^2$. Критериями исключения явились: митральная регургитация (MP) более II степени, клапанные аортальные пороки (площадь аортального клапана менее $1,5 \text{ см}^2$ или недостаточность

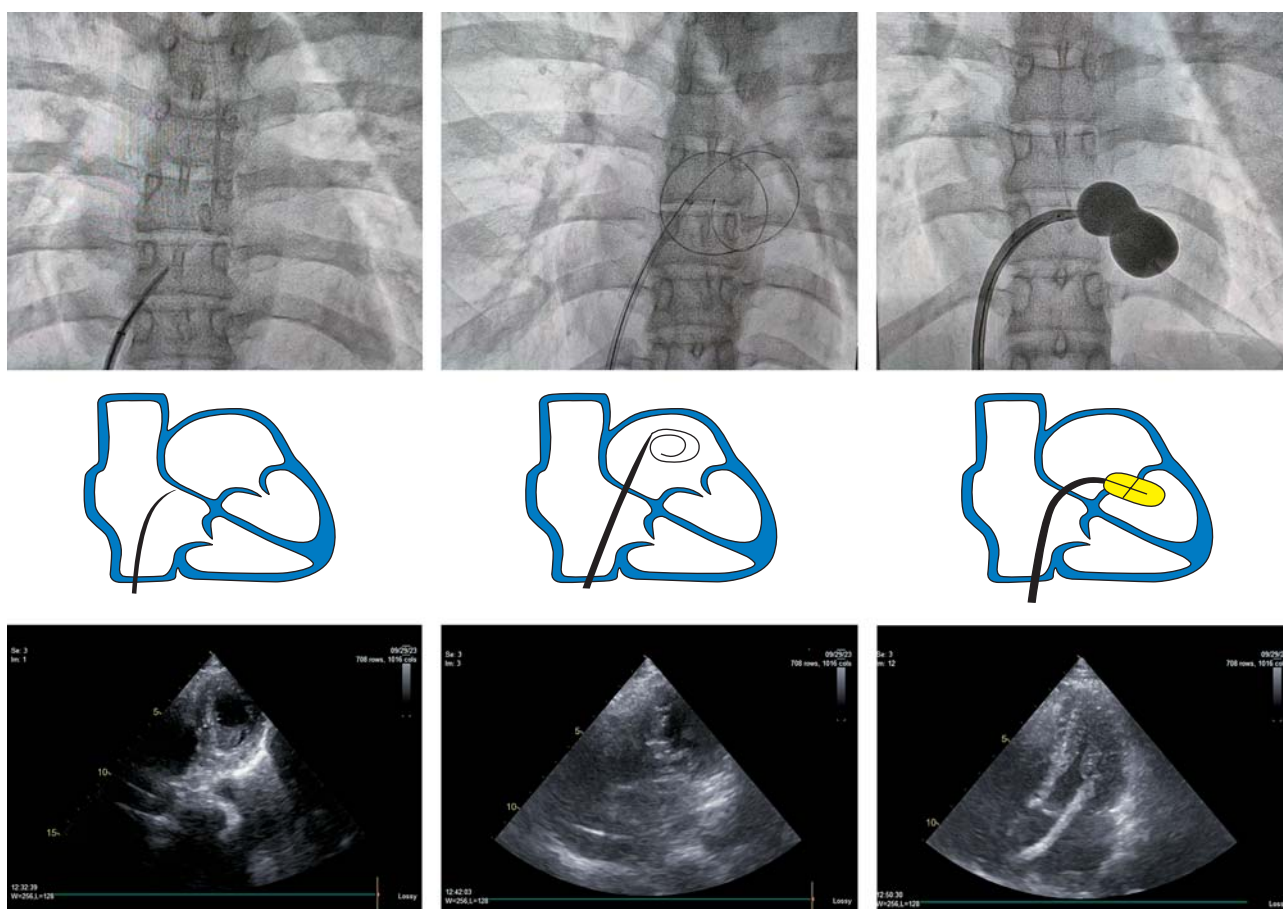


Рис. 1. Основные этапы баллонной митральной вальвулопластики на рентгеновском изображении (верхний ряд), схематическое изображение (средний ряд) и изображение при эхокардиографическом контроле (нижний ряд).

Fig. 1. Key stages of balloon mitral valvuloplasty as seen on fluoroscopic imaging (top row), schematic illustration (middle row), and echocardiographic guidance (bottom row).



аортального клапана более II степени), баллы по шкале Wilkins 8 и более, а также тромбоз ушка ЛП.

Исследования проводились согласно общепринятым протоколам. Всем пациентам выполнялось клинично-лабораторное обследование. В инструментальные методы были включены рентгеноскопия грудной клетки, электрокардиография, трансторакальная ЭхоКГ, при необходимости проводились транспищеводная ЭхоКГ, ультразвуковое исследование вен нижних конечностей. Информированное согласие на проведение вмешательства давали сами пациенты или ответственные за них лица.

БМВ производилась согласно методике Inoue в условиях рентгенооперационной. Каждый этап вмешательства проводился под контролем ЭхоКГ. В частности, производилась визуализация при пункции межпредсердной перегородки (МПП). Во время вмешательства рентгеновизуализация применялась только при крайней необходимости, при манипуляции инструментами в полости сердца. В частности, проведение баллонного катетера из полости в ЛП в ЛЖ через суженное МО, момент его расширения и сдутия требовал дополнительной визуализации. ЭхоКГ производилась после каждого раздутия баллона (рис. 1).

При этом оценивались площадь МО планиметрическим методом, подвижность створок МК, изменение трансмитрального градиента, давление в легочной артерии (ЛА), степень МР. Процедура завершалась после достижения площади МО $1,5 \text{ см}^2$ и более, достижения трансмитрального градиента 8 мм рт.ст. и менее или при появлении МР II степени. Для беременных обеспечивались дополнительные меры радиационной безопасности для плода.

Статистическая обработка результатов проведена на персональном компьютере с использованием пакета программ Microsoft Excel (Microsoft, США). Средние значения представлены с величиной стандартного отклонения $M \pm m$. Достоверность различий количественных показателей определялась с помощью t-критерия Стьюдента. Приемы непараметрической статистики включали точный метод Фишера и оценку данных по критерию χ^2 . Статистически значимыми считали различия при значениях $p < 0,05$.

Результаты исследования

Среднее время, затраченное на процедуру (включающее момент от пункции вены до удаления катетера), составило $48,76 \pm 6,48$ мин. Размер баллонного катетера $26,3 \pm 0,91$ мм. Средний трансмитральный градиент снизился с $14,15 \pm 2,75$ мм рт.ст. до $6,1 \pm 1,15$ мм рт.ст. ($p < 0,05$).

Среднее давление в ЛА снизилось с $28,48 \pm 2,26$ мм рт.ст. до $15,2 \pm 3,68$ мм рт.ст. ($p < 0,05$), давление в ЛП – с $27,86 \pm 3,87$ мм рт.ст. до $13,4 \pm 2,75$ мм рт.ст. ($p < 0,05$) после БМВ. Площадь МО до БМВ в среднем составляла $0,95 \pm 0,14 \text{ см}^2$, а после БМВ увеличилась до $1,89 \pm 0,25 \text{ см}^2$ ($p < 0,05$). Осложнений во время и после процедуры не было. Средняя длительность наблюдения после операции составила $11,35 \pm 1,14$ мес.

Как показано в табл. 1, большинство пациентов составили женщины – 39 (82,9%). Мужчин было 8 (17,1%). Средний возраст пациентов $49,8 \pm 6,14$ года. Синусовый ритм был у 35 (74,5%) пациентов, у оставшихся 12 (25,5%) была ФП.

Всем больным с ФП выполнялась транспищеводная ЭхоКГ для исключения тромбоза ЛП. Беременных было 7 (14,8%). Срок беременности составил $20 \pm 1,4$ нед. Площадь МО измерялась планиметрическим методом и составила до БМВ $0,95 \pm 0,14 \text{ см}^2$, трансмитральный градиент $14,15 \pm 2,75$ мм рт.ст., МР у 37 (78,7%) больных отсутствовала, у 10 (21,3%) составляла не более I степени. Количество баллов по шкале Wilkins составило $7,32 \pm 0,45$. Всем больным была успешно выполнена БМВ под интраоперационным этапным ЭхоКГ-контролем. Из них было 7 (14,8%) беременных. Среднее время, затраченное на процедуру (включающее момент от пункции вены до удаления катетера), составило $48,76 \pm 6,48$ мин. Размер баллонного катетера $26,3 \pm 0,91$ мм. Средний трансмитральный градиент снизился с $14,15 \pm 2,75$ мм рт.ст. до $6,1 \pm 1,15$ мм рт.ст.

Таблица 1. Клинико-инструментальные показатели больных с МС

Table 1. Clinical and instrumental parameters in patients with mitral stenosis (MS)

Параметры Parameter	Показатели Value
Возраст, годы Age, years	49.8 ± 6.14
Женщины Women	8 (17.1%)
Мужчины Men	39 (82.9%)
Беременные Pregnant	7 (14.8%)
Шкала Wilkins Wilkins score	7.32 ± 0.45
Синусовый ритм Sinus rhythm	35 (74.5%)
Фибрилляция предсердий Atrial fibrillation	12 (25.5%)

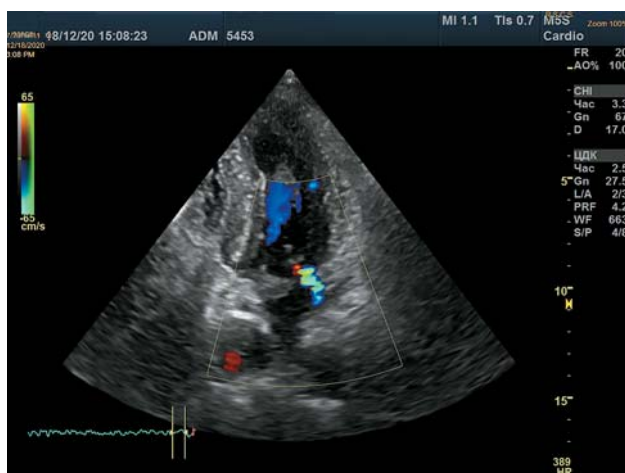
**Таблица 2.** Эхокардиографические показатели до и после баллонной митральной вальвулопластики**Table 2.** Echocardiographic parameters before and after balloon mitral valvuloplasty

Показатели Parameter	До БМВ Before BMV	После БМВ After BMV	p
Трансмитральный градиент, мм рт.ст. Transmitral gradient, mmHg	14.15 ± 2.75	6.1 ± 1.15	<0.05
ФВ, % LVEF, %	57.2 ± 1.24	56.3 ± 1.15	>0.05
Давление в ЛП, мм рт.ст. LA pressure, mmHg	27.86 ± 3.87	13.4 ± 2.75	<0.05
Площадь МО, см ² MVA, cm ²	0.95 ± 0.14	1.89 ± 0.25	<0.05
Давление в ЛА PA pressure, mmHg	28.48 ± 2.26	15.2 ± 3.68	<0.05

($p < 0,05$), среднее давление в ЛА – с $28,48 \pm 2,26$ мм рт.ст. до $15,2 \pm 3,68$ мм рт.ст. ($p < 0,05$). Давление в ЛП снизилось с $27,86 \pm 3,87$ мм рт.ст. до $13,4 \pm 2,75$ мм рт.ст. ($p < 0,05$) после БМВ. Площадь МО до БМВ в среднем составляла $0,95 \pm 0,14$ см², а после БМВ увеличилась до $1,89 \pm 0,25$ см² ($p < 0,05$) (табл. 2). После БМВ у 8 (16,8%) пациентов возникла МР I степени, у 2 (4,2%) – МР II степени (рис. 2). Осложнений во время и после процедуры не было.

Средняя длительность наблюдения после операции составила $11,35 \pm 1,14$ мес. Все пациенты наблюдались амбулаторно.

В течение полугода наблюдения 2 (4,2%) больных подверглись хирургическому лечению МК. В раннем и позднем послеоперационном периодах отмечалось значительное улучшение в течении хронической сердечной недостаточности по NYHA.

**Рис. 2.** Митральная регургитация I степени после баллонной митральной вальвулопластики.**Fig. 2.** Grade I mitral regurgitation following balloon mitral valvuloplasty.

Обсуждение

Целью данного исследования был поиск путей снижения полученной больными дозы радиации при проведении БМВ. Данный вопрос является особо актуальным при проведении рентгенэндоваскулярного вмешательства у беременных женщин со стенозом МК. С этой целью большое внимание мы уделяем применению ЭхоКГ на всех этапах БМВ, когда требуется рентгеноскопическая визуализация. В том числе мы стремимся заменить рентгеноскопический контроль только ЭхоКГ-мониторингом.

Наше исследование включало в себя 47 пациентов с МК ревматической этиологии, которым проводилась стандартная БМВ по методике Inoue с применением ЭхоКГ. Благодаря поэтапному усовершенствованию подобной техники БМВ у двух больных БМВ проводилась под контролем только ЭхоКГ без применения рентгеновизуализации. Согласно данным R.S. Livingstone и соавт., при соблюдении всех возможных мер по снижению рентгенонагрузки DAP при БМВ составила 9,36 Гр/см² [17]. При проведении БМВ на том же ангиографическом аппарате без тщательного соблюдения принципа ALARA DAP, по данным авторов, составила 21,19 Гр/см². Согласно данным ряда других авторов, аналогичный показатель составил при БМВ от 96,42 до 161,9 Гр/см² [21, 22]. Согласно нашим данным, средняя лучевая нагрузка у всех пациентов, измеренная в DAP, показала снижение данного показателя до $3,21 \pm 1,3$ Гр/см², что является ниже на 30% по сравнению с нашими данными у больных, которым проводилась БМВ только под флуороскопическим контролем.

Применение вышеуказанной методики не повлияло на результаты проведенных вмешательств. У всех больных отмечалось значительное улучшение внутрисердечной гемодинамики и клиническое улучшение после вмешательства. Ни у одного

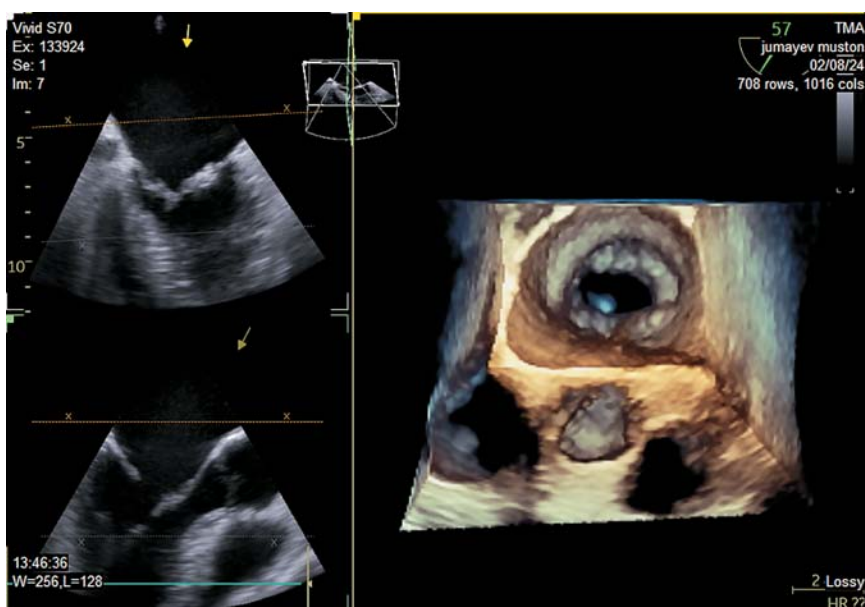
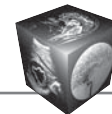


Рис. 3. 3D-реконструкция митрального клапана при трансопищеводной эхокардиографии.

Fig. 3. 3D reconstruction of the mitral valve using transesophageal echocardiography.

больного не было осложнений. Полученные результаты соответствовали данным различных исследований [23–26]. Также во время БМВ под контролем ЭхоКГ рентгенконтрастное вещество не применялось, в отличие от стандартной методики БМВ по Itoue.

Применение ЭхоКГ до БМВ. К ЭхоКГ-признакам МС относятся следующие: формирование сращения между створками МК по типу “рыбьего рта”, клюшкообразная деформация передней створки МК, ограничение подвижности задней створки МК, утолщение подклапанных структур и укорочение хорд. Для оценки трансмитрального градиента и степени МР проводится доплер-ЭхоКГ. С целью измерения площади МО применяется метод вычисления времени полураспада градиента давления или же прямое измерение планиметрическим методом.

Современные методы ультразвуковой диагностики, в частности 3D-реконструкция полостей и структур сердца, позволяют производить более детальную визуализацию МК (рис. 3).

Результаты БМВ во многом зависят от анатомических характеристик МК. Перед тем как определить показания к БМВ, следует тщательно оценить состояние МК, так как это во многом определяет успех процедуры. Для этого широко применяется шкала Wilkins [14, 27]. При применении данной шкалы производится определение следующих параметров МК: подвижность створок, степень утолщения створок, степень кальциноза створок и изменение подклапанных структур. Каждый параметр оценивается по четырехбалльной шкале от 1 до 4. Суммарно возможно определение до

максимальных 16 баллов. При этом количество баллов 8 и менее свидетельствует о потенциально хороших результатах БМВ, в то время как более 8 баллов прогнозируют неудовлетворительные результаты. Однако имеется ряд публикаций различных авторов, в которых указывается, что выполнение БМВ возможно при количестве баллов больше 8 у тяжелой категории больных с наличием сопутствующихотягощающих состояний [28].

Выраженный кальциноз створок МК ассоциирован с повышением риска появления МР после БМВ. Выраженная МР является предиктором инвалидизации и смертности у данной категории больных. Помимо шкалы Wilkins, также существует шкала Radial, которая позволяет спрогнозировать риск развития МР после БМВ, учитывая степень кальциноза МК [29, 30]. Данные шкалы основаны на количественном анализе морфологии структур МК и могут быть эффективными при наблюдении одним и тем же специалистом ЭхоКГ [3].

Основным механизмом при БМВ является разъединение сросшихся комиссур. То есть наибольший эффект можно получить, если имеется превалирующее сращение клапанных створок. В противовес, если МС обусловлен сращением подклапанных структур, то БМВ оказывается малоэффективной [16].

В работах М.С. Nunes и соавт. было предложено вычисление отношения площади комиссур и подвижности створок для прогнозирования результатов БМВ [31]. Данные критерии включают в себя как морфологическую оценку, так и оценку функции клапана. Отношение площади комиссур более 1,25 и подвижность створок 12 мм и менее

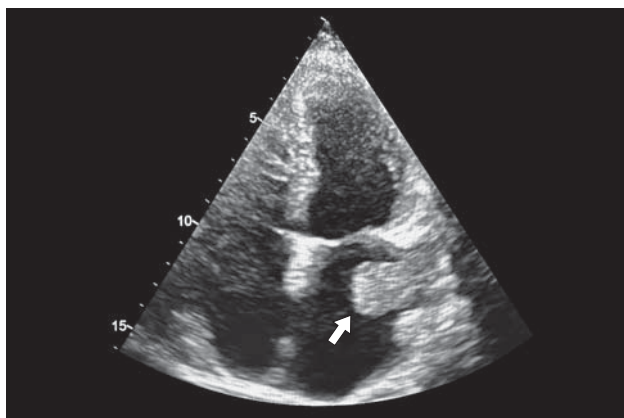
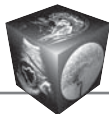


Рис. 4. Тромбоз ушка левого предсердия, выявленный при трансторакальном эхокардиографическом исследовании (стрелка).

Fig. 4. Left atrial appendage thrombosis detected by transthoracic echocardiography (arrow).

свидетельствуют о том, что результаты БМВ будут неудовлетворительными.

МР II степени и более является противопоказанием к БМВ. Учитывая вышесказанное, следует отметить, что важным ограничением всех перечисленных шкал является отсутствие оценки исходной МР.

Применение ЭхоКГ во время БМВ. Согласно общепринятому протоколу, перед проведением БМВ производится ЭхоКГ-оценка МК. В случае необходимости перед процедурой производится транспищеводная ЭхоКГ, которая позволяет обнаружить/исключить тромб в полости ЛП, а также произвести более точную визуализацию МК. Тромбоз ушка ЛП или самого ЛП является противопоказанием к БМВ, так как это чревато развитием интраоперационного инсульта (рис. 4).

Исключением могут являться только особые обстоятельства, когда предполагаемая польза оказывается больше возможного риска. На ЭхоКГ также можно увидеть так называемый “синдром спонтанного эхоконтрастирования” или “smoke”, который предполагает застой крови в полости ЛП и риск тромбообразования. Однако данный феномен сам по себе не является противопоказанием к БМВ. Транспищеводная ЭхоКГ, а также внутрисердечное ультразвуковое исследование во время проведения БМВ способствуют лучшему контролю при проведении пункции межпредсердной перегородки (МПП), особенно у больных с особенностями в анатомии МПП, смещением ее при дилатированном ЛП. Оптимальной считается пункция МПП в задненижнем отделе овальной ямки. Ультразвуковое пособие позволяет визуализировать транссептальную иглу в ЛП. Во время пункции

МПП натягивается как “крыша палатки”, что определяется при УЗИ как “tenting”. Также ЭхоКГ позволяет производить контроль расположения инструментов для БМВ в полости ЛП, таких как проводник, буж, сам баллонный катетер. Следует учитывать, что ушко ЛП является тонкостенной структурой, легко подвергающейся повреждению, и находится по пути траектории движения проводимых в полость ЛП вышеуказанных инструментов.

Успех БМВ во многом зависит непосредственно от правильного подбора размера баллонного катетера Inoue. При слишком большом диаметре происходит чрезмерное повреждение створок, комиссур МК, а также его подклапанных структур, что, как уже было отмечено, приводит к развитию МР. Слишком маленький диаметр рабочей части катетера просто не разделит сросшиеся комиссуры и адекватно не расширит МО.

Самым распространенным методом подбора размера баллонного катетера является учет роста или площади поверхности тела больного. Однако рост и диаметр МО не всегда имеют прямую корреляцию между собой. Н.Р. Sanati и соавт. предложили измерение площади МО и/или расстояние между комиссурами в апикальной двухкамерной позиции во время интраоперационной ЭхоКГ [32].

ЭхоКГ во время вмешательства позволяет как оценить адекватность выполнения БМВ, так и своевременно обнаружить осложнения. При каждом расширении баллона производится поэтапная ЭхоКГ-оценка МК, а именно, площадь МО, трансмитральный градиент и степень МР (рис. 5).

ЭхоКГ по сравнению с рентгеноскопией позволяет лучше оценить анатомию и гемодинамику. В первую очередь, необходимо под ЭхоКГ-контролем определить подходящее место для пункции МПП. Игла Бракенрауна определяется по натяжению МПП подобно тенту палатки, так называемый “tenting”, что определяется в четырехкамерной позиции и парастеральной позиции по короткой оси. Расстояние от места пункции до МК может быть рассчитано в соответствии с размером ЛП, что облегчает прохождение баллона через МК. После пункции вводится физиологический раствор через просвет иглы, что облегчает идентификацию кончика катетера в полости ЛП.

Также применение ЭхоКГ позволяет контролировать прохождение катетера для БМВ через МО. Соотношение баллона и структур сердца хорошо визуализируется при ЭхоКГ, что позволяет оператору корректировать направление катетера и оценивать манипуляции баллоном при прохождении через суженное левое атриовентрикулярное отверстие. В то же время при рентгенологическом

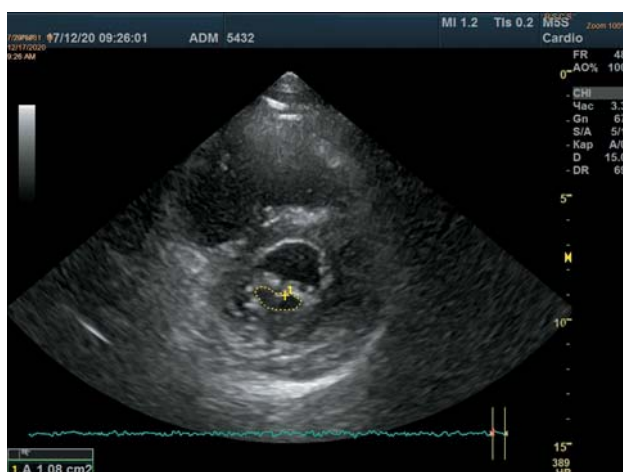
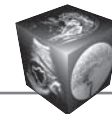


Рис. 5. Трансторакальное 2D-эхокардиографическое изображение митрального клапана с планиметрическим измерением его площади до (сверху) и после (снизу) баллонной митральной вальвулопластики.

Fig. 5. Transthoracic 2D echocardiographic image of the mitral valve with planimetric measurement of the valve area before (top) and after (bottom) balloon mitral valvuloplasty.

контроле невозможно точно определить пространственное взаимоотношение между баллоном и МО (см. рис. 1).

Еще одним преимуществом является то, что ЭхоКГ может показать соотношение раскрытого баллона и МО в горизонтальной плоскости клапана, что повышает точность процедуры дилатации [24].

После каждого расширения баллона ЭхоКГ позволяет измерить площадь МО, трансмитральный градиент, МР, оценить состояние подклапанных структур, раскрытие комиссур, оценить мобильность створок, а также выявить возможные осложнения. Также наличие и выраженность МР (усугубившейся или вновь возникшей) могут быть оценены без применения левой вентрикулографии (рис. 6).

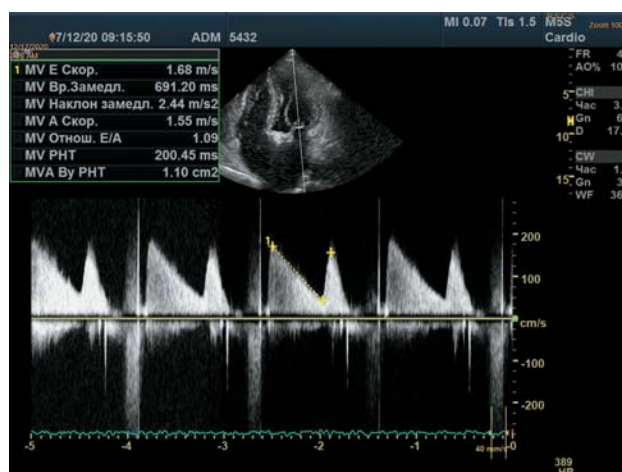


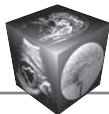
Рис. 6. Допплеровское исследование митрального клапана до (сверху) и после (снизу) баллонной митральной вальвулопластики.

Fig. 6. Doppler study of the mitral valve before (top) and after (bottom) balloon mitral valvuloplasty.

В ряде медицинских центров, например Fuway Hospital (Пекин, Китай), некоторые эндоваскулярные вмешательства стали проводить под ЭхоКГ-контролем без применения рентгеноскопии (Percutaneous And Non-Fluoroscopic procedure, PAN). В частности, выполняются такие вмешательства, как транскатетерное закрытие окклюдером ДМПП, ОАП, ДМЖП, вальвулопластика СМО и СЛА [23–26].

По завершении процедуры ЭхоКГ позволяет исключить наличие гемоперикарда, который может развиваться как осложнение вмешательства.

Таким образом, нами производится постепенный переход от традиционного рентгенэндоваскулярного вмешательства к “zero fluoro”, то есть



эндоваскулярному вмешательству без применения флуороскопии под контролем ЭхоКГ.

Применение ЭхоКГ после БМВ. В ближайшем послеоперационном периоде ЭхоКГ позволит оценить площадь МО, трансмитральный градиент и степень МР. Частота МР после БМВ, согласно различным источникам, составляет от 1 до 10% [33, 34]. Оценка площади МО после БМВ следует производить методом планиметрии, но не методом определения времени полураспада (см. рис. 5). Это обусловлено тем, что данный метод опирается на движение стенок ЛП и ЛЖ, которые меняются после БМВ [3].

Таким образом, результаты имеющейся литературы и клинические данные показывают возможности выполнения БМВ по методике Inoue под ЭхоКГ-мониторингом с возможностью снижения времени рентгеноскопии или отказа от рентгеновизуализации.

Заключение

БМВ является эффективным и безопасным методом лечения МС у отобранных для данной процедуры пациентов. ЭхоКГ является не только основным методом при диагностике МС, но и должна использоваться на всех этапах БМВ. Совершенствование использования ЭхоКГ во время эндоваскулярного вмешательства позволяет значительно снизить рентгенооблучение, а в дальнейшем и полностью избежать его применения. Проведение подобных эндоваскулярных вмешательств только под ЭхоКГ-визуализацией без применения рентгеноскопии требует дальнейшего изучения.

Участие авторов

Зуфаров М.М. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Им В.М. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Хамдамов С.К. – сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, участие в научном дизайне.

Authors' participation

Zufarov M.M. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article.

Im V.M. – concept and design of the study, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, writing text, preparation and creation of the published work.

Khamdamov S.K. – collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, participation in scientific design.

Список литературы [References]

1. lung B., Vahanian A. Epidemiology of valvular heart disease in the adult. *Nat. Rev. Cardiol.* 2011; 8 (3): 162–172. <http://doi.org/10.1038/nrcardio.2010.202>
2. Roth G.A., Johnson C., Abajobir A. et al. Global, Regional, and National Burden of Cardiovascular Diseases for 10 Causes, 1990 to 2015. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 70 (1): 1–25. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.04.052>
3. Passeri J.J., Dal-Bianco J.P. Percutaneous Balloon Mitral Valvuloplasty: Echocardiographic Eligibility and Procedural Guidance. *Interv. Cardiol. Clin.* 2018; 7 (3): 405–413. <http://doi.org/10.1016/j.iccl.2018.04.003>
4. Nobuyoshi M., Arita T., Shirai S. et al. Percutaneous balloon mitral valvuloplasty: a review. *Circulation.* 2009; 119 (8): e211–9. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.792952>
5. Wilson J.K., Greenwood W.F. The natural history of mitral stenosis. *Can. Med. Assoc. J.* 1954; 71 (4): 323–331.
6. Harb S.C., Griffin B.P. Mitral Valve Disease: a Comprehensive Review. *Curr. Cardiol. Rep.* 2017; 19 (8): 73. <http://doi.org/10.1007/s11886-017-0883-5>
7. Inoue K., Owaki T., Nakamura T. et al. Clinical application of transvenous mitral commissurotomy by a new balloon catheter. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1984; 87 (3): 394–402.
8. Arora R., Nair M., Kalra G.S. et al. Immediate and long-term results of balloon and surgical closed mitral valvotomy: a randomized comparative study. *Am. Heart J.* 1993; 125 (4): 1091–1094. [http://doi.org/10.1016/0002-8703\(93\)90118-s](http://doi.org/10.1016/0002-8703(93)90118-s)
9. de Souza J.A., Martinez E.E. Jr., Ambrose J.A. et al. Percutaneous balloon mitral valvuloplasty in comparison with open mitral valve commissurotomy for mitral stenosis during pregnancy. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001; 37 (3): 900–903. [http://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)01184-0](http://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01184-0)
10. Turi Z.G. The 40th Anniversary of Percutaneous Balloon Valvuloplasty for Mitral Stenosis: Current Status. *Struct. Heart.* 2022; 6 (5): 100087. <http://doi.org/10.1016/j.shj.2022.100087>
11. lung B., Nicoud-Houel A., Fondard O. et al. Temporal trends in percutaneous mitral commissurotomy over a 15-year period. *Eur. Heart J.* 2004; 25 (8): 701–707. <http://doi.org/10.1016/j.ehj.2004.02.026>
12. Singh A.D., Mian A., Devasenapathy N. et al. Percutaneous mitral commissurotomy versus surgical commissurotomy for rheumatic mitral stenosis: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Heart.* 2020; 106 (14): 1094–1101. <http://doi.org/10.1136/heartjnl-2019-315906>
13. Harb S.C., Griffin B.P. Mitral Valve Disease: a Comprehensive Review. *Curr. Cardiol. Rep.* 2017; 19 (8): 73. <http://doi.org/10.1007/s11886-017-0883-5>
14. Wilkins G.T., Weyman A.E., Abascal V.M. et al. Percutaneous balloon dilatation of the mitral valve: an analysis of echocardiographic variables related to outcome and the mechanism of dilatation. *Br. Heart J.* 1988; 60 (4): 299–308. <http://doi.org/10.1136/hrt.60.4.299>
15. Chmielak Z., Klopotoski M., Kruk M. et al. Repeat percutaneous mitral balloon valvuloplasty for patients with mitral valve restenosis. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2010; 76 (7): 986–992. <http://doi.org/10.1002/ccd.22608>
16. Turi Z.G. The 40th Anniversary of Percutaneous Balloon Valvuloplasty for Mitral Stenosis: Current Status. *Struct. Heart.* 2022; 6 (5): 100087. <http://doi.org/10.1016/j.shj.2022.100087>



17. Livingstone R.S., Chandy S., Peace B.S. et al. Audit of radiation dose during balloon mitral valvuloplasty procedure. *J. Radiol. Prot.* 2006; 26 (4): 397–404. <http://doi.org/10.1088/0952-4746/26/4/004>
18. Meinel F.G., Nance J.W. Jr., Harris B.S. et al. Radiation risks from cardiovascular imaging tests. *Circulation.* 2014; 130 (5): 442–445. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005340>
19. Hussein A., Eid M., Mahmoud S.E.D. et al. The Outcomes of PBMV in Pregnancy, and When is the Best Time? *Vasc. Health. Risk. Manag.* 2023; 19: 13–20. <http://doi.org/10.2147/VHRM.S388754>
20. Sreerama D., Surana M., Moolchandani K. et al. Percutaneous balloon mitral valvotomy during pregnancy: A systematic review and meta-analysis. *Acta Obstet. Gynecol. Scand.* 2021; 100 (4): 666–675. <http://doi.org/10.1111/aogs.14029>
21. Broadhead D.A., Chapple C.L., Faulkner K. et al. The impact of cardiology on the collective effective dose in the North of England. *Br. J. Radiol.* 1997; 70 (833): 492–497. <http://doi.org/10.1259/bjr.70.833.9227231>
22. Vaňo E., González L., Fernández J.M., Guibelalde E. Patient dose values in interventional radiology. *Br. J. Radiol.* 1995; 68 (815): 1215–1220. <http://doi.org/10.1259/0007-1285-68-815-1215>
23. Pan X., Ouyang W., Li S. et al. Safety and efficacy of percutaneous patent ductus arteriosus closure solely under thoracic echocardiography guidance. *Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi.* 2015; 43 (1): 31–33. PMID: 25876719 (In Chinese)
24. Liu Y., Guo G.L., Wen B. et al. Feasibility and effectiveness of percutaneous balloon mitral valvuloplasty under echocardiographic guidance only. *Echocardiography.* 2018; 35 (10): 1507–1511. <http://doi.org/10.1111/echo.14055>
25. Pan X.B., Ou-Yang W.B., Pang K.J. et al. Percutaneous Closure of Atrial Septal Defects Under Transthoracic Echocardiography Guidance Without Fluoroscopy or Intubation in Children. *J. Interv. Cardiol.* 2015; 28 (4): 390–395. <http://doi.org/10.1111/joic.12214>
26. Wang S.Z., Ou-Yang W.B., Hu S.S. et al. First-in-Human Percutaneous Balloon Pulmonary Valvuloplasty Under Echocardiographic Guidance Only. *Congenit. Heart Dis.* 2016; 11 (6): 716–720. <http://doi.org/10.1111/chd.12380>
27. Rajvanshi S., Nath R.K., Bharadwaj R. Mitral valve assessment and scoring before balloon mitral valvuloplasty. *Heart India.* 2020; 8 (3): 121–126. http://doi.org/10.4103/heartindia.heartindia_22_20
28. Gajjala O.R., Durgaprasad R., Velam V. et al. New integrated approach to percutaneous mitral valvuloplasty combining Wilkins score with commissural calcium score and commissural area ratio. *Echocardiography.* 2017; 34 (9): 1284–1291. <http://doi.org/10.1111/echo.13635>
29. Cannan C.R., Nishimura R.A., Reeder G.S. et al. Echocardiographic assessment of commissural calcium: a simple predictor of outcome after percutaneous mitral balloon valvotomy. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1997; 29 (1): 175–180. [http://doi.org/10.1016/s0735-1097\(96\)00422-6](http://doi.org/10.1016/s0735-1097(96)00422-6)
30. Padial L.R., Freitas N., Sagie A. et al. Echocardiography can predict which patients will develop severe mitral regurgitation after percutaneous mitral valvulotomy. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1996; 27 (5): 1225–1231. [http://doi.org/10.1016/0735-1097\(95\)00594-3](http://doi.org/10.1016/0735-1097(95)00594-3)
31. Nunes M.C., Tan T.C., Elmariah S. et al. The echo score revisited: Impact of incorporating commissural morphology and leaflet displacement to the prediction of outcome for patients undergoing percutaneous mitral valvuloplasty. *Circulation.* 2014; 129 (8): 886–895. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.001252>
32. Sanati H.R., Kiavar M., Salehi N. et al. Percutaneous mitral valvuloplasty--a new method for balloon sizing based on maximal commissural diameter to improve procedural results. *Am. Heart Hosp. J.* 2010; 8 (1): 29–32. <http://doi.org/10.15420/ahhj.2010.8.1.29>
33. Mohan J.C., Shukla M. Mitral Regurgitation Following Balloon Mitral Valvuloplasty: A New Twist on an Old Problem. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2020; 13 (12): 2527–2529. <http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.07.044>
34. Nunes M.C.P., Levine R.A., Brailio R. et al. Mitral Regurgitation After Percutaneous Mitral Valvuloplasty: Insights Into Mechanisms and Impact on Clinical Outcomes. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2020; 13 (12): 2513–2526. <http://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.07.020>

Для корреспонденции*: Им Вадим Мухасанович – e-mail: dr.vadim.im@gmail.com

Зуфаров Миржамол Мирумарович – доктор мед. наук, профессор, руководитель отделения интервенционной кардиологии, аритмологии и эндоваскулярной хирургии ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент. <https://orcid.org/0000-0003-4822-3193>

Им Вадим Мухасанович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения интервенционной кардиологии, аритмологии и эндоваскулярной хирургии ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент. <https://orcid.org/0000-0003-3397-8956>

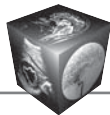
Хамдамов Санжар Камалович – заведующий отделением ультразвуковой диагностики ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент.

Contact*: Vadim M. Im – e-mail: dr.vadim.im@gmail.com

Mirjamol M. Zufarov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Interventional Cardiology, Arrhythmology and Endovascular Surgery, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent. <https://orcid.org/0000-0003-4822-3193>

Vadim M. Im – Cand. of Sci. (Med.), Senior Research Fellow of the Department of Interventional Cardiology, Arrhythmology and Endovascular Surgery, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent. <https://orcid.org/0000-0003-3397-8956>

Sanjhar K. Khamdamov – Head of the Department of Ultrasound Diagnostics, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent.



Полисерозит как негативный прогностический фактор COVID-19. Наблюдения ГКБ №52 в начале и в конце пандемии

© Сукмарова З.Н.^{1*}, Паршин В.В.², Шишиморов А.А.², Громов А.И.³

¹ ФГБНУ “НИИ ревматологии им. В.А. Насоновой”; 115522 Москва, Каширское шоссе, д. 34А, Российская Федерация

² ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница № 52 ДЗ города Москвы”; 123182 Москва, ул. Пехотная, д.3, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России; 127006 Москва, ул. Долгоруковская, д. 4, Российская Федерация

Инфекция SARS-CoV-2 продолжает циркулировать среди населения и играть роль иммунологического триггера. Полисерозит, описанный как маркер иммуновоспалительных заболеваний, сегодня привлекает внимание у пациентов, перенесших COVID-19, даже вне контекста респираторной инфекции.

Цель исследования: изучение встречаемости выпота в полость перикарда и плевры по данным КТ легких у пациентов с острой пневмонией COVID-19 умеренной и тяжелой степени и сопоставление находок с показателями смертности.

Материал и методы. Ретроспективно проанализирована встречаемость экссудации >5 мм по данным КТ грудной клетки, выполненной при поступлении в ковидный стационар, пациентов с острой пневмонией из базы данных периода с 01.02–30.04.2020 и 2022 гг. Критерии не включения: наличие предшествовавшего перикардита или плеврита, гидроперикарда, гидроторакса, ХСН с ФК по NYHA ≥ III, иммуновоспалительного заболевания.

Результаты. За 3 изучаемых месяца 2020 и 2022 гг. было включено 390 случаев, из которых 58 закончились летальным исходом. Видимый при КТ легких выпот в полость плевры в группе выживших регистрировался у 15%, в группе умерших – у 50% пациентов (OR 3,9; 95%CI 2,5–6,2), выпот в перикардальную полость – 12 и 57% соответственно (OR 5,6; 95%CI 3,6–8,9). Максимальная толщина выпота также была вдвое больше во второй группе: 13 vs 29 мм в полости плевры, 6 vs 11 мм в полости перикарда. При сравнении частоты встречаемости вовлечения серозных оболочек по годам в 2020 г. выпот в плевральную полость регистрировался у 16%, в 2022 г. – у 22%, в перикардальную полость в 2020 г. – у 14%, в 2022 г. – у 20% соответственно. При этом группы оказались сопоставимы по возрасту: Me 59 [95%CI: 49 до 86] лет в 2020 г. и 60 [95%CI: 49 до 87] лет в 2022 г. ($p = 0,6$), а также по тяжести пневмонии по КТ: $1,65 \pm 0,2$ vs $1,55 \pm 0,2$ ($p = 0,2$) соответственно.

Заключение. 1/5 стационарных пациентов с COVID-19- пневмонией имеют небольшой выпот в серозные полости грудной клетки. Наличие экссудации в плевральную или перикардальную полость ассоциируется с 4- и 6-кратным увеличением риска смерти таких пациентов. Встречаемость выпота в серозные полости > 5 мм увеличилась в 1,5 раза за 3 года, что может свидетельствовать о сенсibilизации населения.

Ключевые слова: полисерозит как прогностический фактор исхода COVID-19; плевральный выпот; перикардальный выпот; компьютерная томография

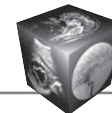
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Сукмарова З.Н., Паршин В.В., Шишиморов А.А., Громов А.И. Полисерозит как негативный прогностический фактор COVID-19. Наблюдения ГКБ №52 в начале и в конце пандемии. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (2): 20–28. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1496>

Поступила в редакцию: 20.08.2024.

Принята к печати: 08.02.2025.

Опубликована online: 18.04.2025.



Patients monitoring in the City Clinical Hospital No. 52 at the beginning and end of the pandemic

© **Zulfiya N. Sukmarova**^{1*}, **Alexey A. Shishimorov**², **Vasily V. Parshin**²,
Alexander I. Gromov³

¹ V.A. Nasonova Research Institute of Rheumatology; 34A, Kashirskoye shosse, Moscow 115522, Russian Federation

² City Clinical Hospital No52 of Moscow Healthcare Department; 3, Pekhotnaya str., Moscow 123182, Russian Federation

³ Russian University of Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 4, Dolgorukovskaya str., Moscow 127006, Russian Federation

SARS-CoV-2 infection continues to circulate in the population and to play a role of immunological trigger. Polyserositis, described as a marker of immunoinflammatory diseases, today can often be found in patients who have had COVID-19, even irrespective of respiratory infection.

Objective: to study the incidence of pericardial and pleural effusion based on lung CT scans in patients with moderate to severe acute COVID-19 pneumonia and to compare findings with mortality rates.

Materials and methods. The incidence of exudation >5 mm according to data from a chest CT scan performed upon admission to a Covid hospital in patients with acute pneumonia from the database for the period from February 1 to April 30, 2020 and 2022. Criteria non-inclusion: presence of previous pericarditis or pleurisy, hydro-pericardium, hydrothorax, CHF with NYHA class ≥3, immunoinflammatory disease.

Results. Over the 3 months studied in 2020 and 2022, 390 cases were included, of which 58 ended in death. Pleural effusion visible on CT of the lungs in the group of survivors were recorded in 15%, in the group of deceased – in 50% of patients (OR 3.9; 95%CI 2.5–6.2), pericardial effusion – 12 and 57%, respectively (OR 5.6; 95%CI 3.6–8.9). The maximum thickness of the effusion was also twice as large in the second group: 13 vs 29 mm in the cavity pleura, 6 vs 11 mm in the pericardial cavity. When comparing the frequency of serous membranes involvement by year, in 2020 effusion into the pleural cavity was recorded in 16%, in 2022 – in 22%, in the pericardial cavity in 2020 – in 14%, in 2022 – in 20% respectively. At the same time the groups were comparable in age Me 59 [95%CI: 49 to 86] years in 2020 and 60 [95%CI: 49 to 87] years in 2022 ($p = 0.6$), as well as by the severity of pneumonia according to CT 1.65 ± 0.2 vs 1.55 ± 0.2 ($p = 0.2$) respectively.

Conclusions. 1/5 of inpatients with COVID-19 pneumonia have a small effusion in the serous cavities of the chest. The exudation into the pleural or pericardial cavities are associated with a 4- and 6-fold increased risk of death in these patients. The incidence of serous effusion >5 mm increased 1.5 times over 3 years, which may indicate patient sensitization.

Keywords: polyserositis as a prognostic factor for COVID-19 outcome; pleural effusion; pericardial effusion; computed tomography

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Sukmarova Z.N., Shishimorov A.A., Parshin V.V., Gromov A.I. Patients monitoring in the City Clinical Hospital No. 52 at the beginning and end of the pandemic. *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 20–28. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1496>

Received: 20.08.2024.

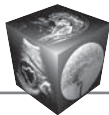
Accepted for publication: 08.02.2025.

Published online: 18.04.2025.

Введение

Сегодня стало ясно, что инфекция SARS-CoV-2 продолжает циркулировать среди населения. Хотя поражение уже не носит злоешие масштабы, бремя заболеваемости накапливается. Вопреки исходным опасениям, оно касается не дыхательной недостаточности, а ревматологической, эндокринологической и сердечно-сосудистой патологии. И если КТ-картина пневмонита купируется у большинства пациентов, перенесших COVID-19 [1], то, например, аутоиммунные и аутовоспалительные

заболевания, напротив, манифестируют спустя какой-то период после [2]. Иммуновоспалительный синдром (так называемый цитокиновый шторм) является основным триггером декомпенсации и смерти пациентов в острый период, а его хроническая форма – причиной отдаленных последствий (пост-COVID-19), обуславливая то, что многие пациенты так и не могут вернуться к состоянию здоровья, которое у них было до болезни. Поэтому изучение новой коронавирусной инфекции с точки зрения иммунопатологии важно как



для работы со спорадическими случаями актуальной инфекции, так и для готовности к возможным предстоящим эпидемиям. Один из признаков системного воспаления – это полисерозит, который является критерием многих ревматологических заболеваний. По опыту, подробно описывая типичные и количественные изменения в легких у пациентов ковидных центров, а также у амбулаторных пациентов с жалобами на боль в груди, зачастую выпот в полость плевры и перикарда оставался за пределами внимания [3].

Цель исследования: изучение встречаемости выпота в серозные полости грудной клетки по данным КТ у пациентов с острой пневмонией COVID-19 умеренной и тяжелой степени и сопоставление находок с показателями смертности.

Материал и методы

Были проанализированы данные пациентов, поступавших в ковидный центр ГКБ 52 с диагнозом “острая пневмония COVID-19” умеренной и тяжелой степени периода с 1 февраля по 30 апреля 2020 и 2022 гг. Критерии невключения: информация в истории болезни о наличии предшествовавшего перикардита или плеврита, гидроперикарда, гидроторакса любой этиологии, ХСН с ФК по NYHA $\geq$ III, иммуновоспалительного заболевания. Исследования проводились в 1-е сутки поступления в ковидный стационар (в среднем около недели после манифестации симптомов COVID-19). Использовались компьютерный томограф Canon Aquilion Prime SP 160-срезовый с толщиной среза 1,0 мм и шагом между срезами 0,8 мм, а также 64-срезовый томограф General Electric Revolution EVO с толщиной среза 1,25 мм и шагом 1,25 мм с применением реконструкции в легочном и мягкотканном окне. Укладка стандартизированная: в положении лежа на спине с поднятыми руками вверх, на вдохе при сканировании. Однако в зависимости от тяжести состояния пациента также использовалась укладка лежа на животе или в вынужденном положении. Обработка проводилась на рабочем месте врачом-рентгенологом в системе ЕРИС с использованием программы AGFA версии 8.1.2. Так как при оценке полисерозита, в отличие от дыхательной недостаточности,

объем выпота не имеет значения, а важен сам факт наличия вовлечения серозных оболочек, в рамках настоящего исследования проводился пересмотр КТ-исследований для фиксации любого видимого выпота двумя специалистами по согласованию. Минимальная толщина учитываемой сепарации листов плевры и перикарда составляла 5 мм.

Результаты исследования

За 3 изучаемых месяца 2020 г. и 3 мес по прошествии 2 лет были повторно просмотрены 638 КТ-изображений, из которых последовательно отобрано 390. Исключенные случаи не соответствовали заявленным критериям включения/невключения или имели плохое качество КТ-изображений. Из них 58 (14,8%) закончились летальным исходом в рамках госпитализации (22,2% в 2020 г. и 12,7% в 2022 г.). В 2020 г., учитывая неотработанную систему хранения данных, а не меньшую заболеваемость, количество включенных пациентов было 90, а в 2022 г. – 300 человек. При этом, вероятно, в связи с принятыми критериями для госпитализации пациентов с COVID-19 группы 2020 и 2022 гг. оказались сопоставимы по возрасту: Me 59 [95% CI: 49 до 86] лет и 60 [95% CI: 49 до 87] лет ($p = 0,6$), а также по тяжести пневмонии: средняя степень тяжести по КТ $1,65 \pm 0,2$ vs $1,55 \pm 0,2$ ($p = 0,2$) соответственно. Видимый при КТ легких выпот в полость плевры > 5 мм регистрировался у 79 (20%) пациентов, а выпот в полость перикарда > 5 мм – у 74 (19%) пациентов (рис. 1–4). При этом частота встречаемости выпота в полость плевры и перикарда в 2020 г. была меньше: в 2020 г. 16 и 14%, а в 2022 г. – 22 и 20% соответственно ($p < 0,01$) (табл. 1).

Через отделение интенсивной терапии прошло 110 человек. В группе впоследствии выживших выпот в серозные полости встречался значимо чаще (табл. 2), относительный риск для плеврального выпота в группах составил 3,9 (2,5–6,2), для перикардального – 5,6 (3,6–8,9). Максимальная толщина выпота также была почти вдвое больше среди умерших пациентов.

В протоколе КТ-исследования патологический выпот был описан у 13%, а в перикард – у 4% пациентов.

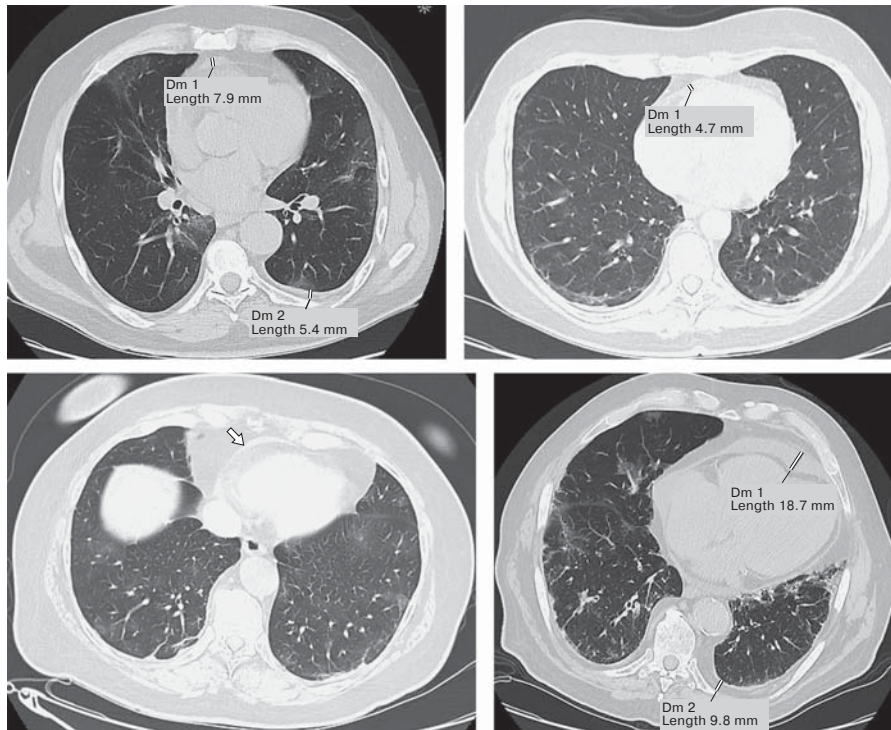


Рис. 1. Компьютерные томограммы органов грудной клетки. Стрелками показан минимальный патологический выпот в полость перикарда и плевры на фоне изменений легочной ткани легкой степени (Dm – Distance measurement).

Fig. 1. CT scan of the chest. Arrows indicate minimal pathological effusion in the pericardial cavity and pleura against the background of mild changes in the lung tissue (Dm – Distance measurement).

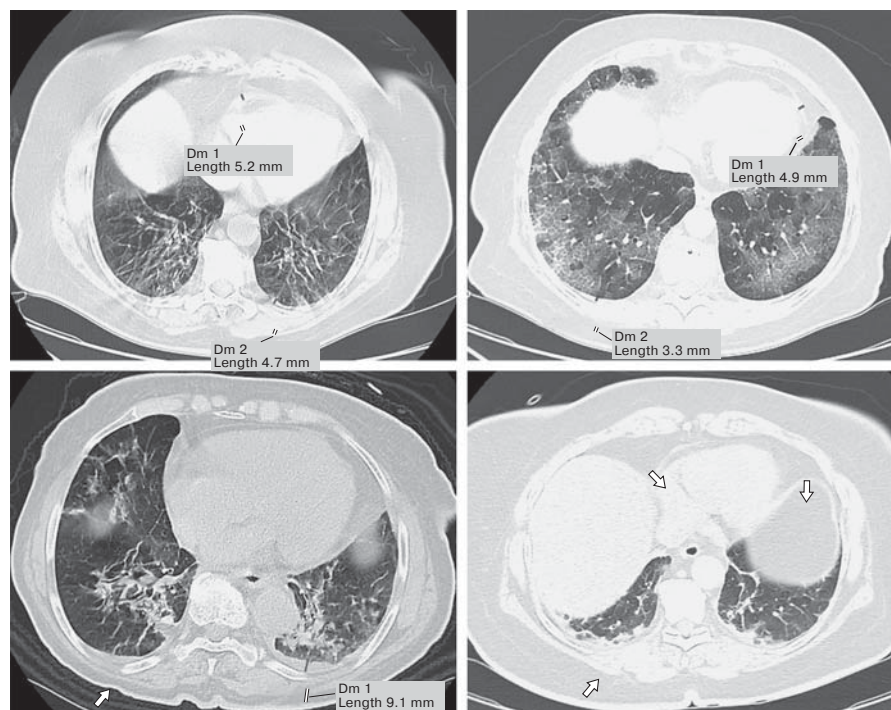


Рис. 2. Минимальное вовлечение серозных оболочек при выраженных изменениях паренхимы легких.

Fig. 2. Minimal involvement of serous membranes with pronounced changes in the lung parenchyma.

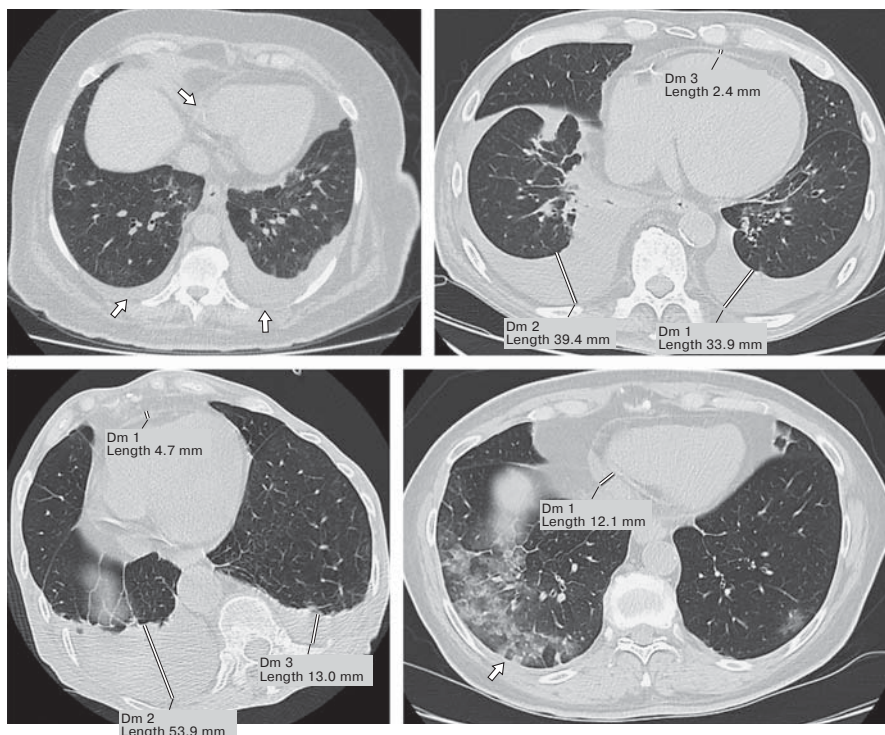
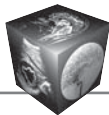


Рис. 3. Значительный выпот в серозные полости при нетяжелых изменениях паренхимы легких.
Fig. 3. Significant effusion into serous cavities with mild changes in the lung parenchyma.

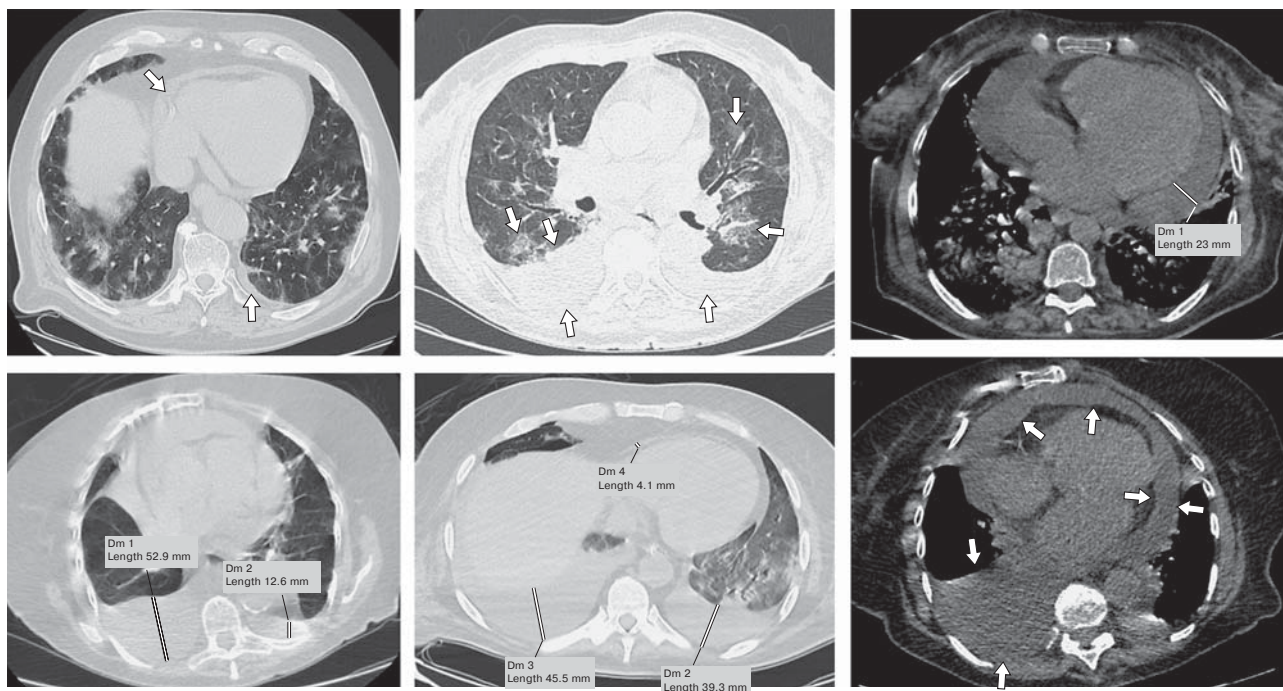


Рис. 4. Пневмония тяжелой степени и выраженный выпот в полость перикарда и/или плевры.
Fig. 4. Severe pneumonia and pronounced effusion into the pericardial and/or pleural cavity.

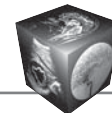


Таблица 1. Частота встречаемости выпота в полость плевры и перикарда в сопоставимых группах пациентов 2020 и 2022 гг.

Table 1. Frequency of occurrence of pleural and pericardial effusions in transitional groups of patients in 2020 and 2022

Показатель	03–04.2020	03–04.2022	p
Выпот в плевральную полость >5 мм Pleural effusion >5 mm	16%	22%	<0.01
Выпот в перикардальную полость >5 мм Pericardial effusion >5 mm	14%	20%	<0.01
Возраст, годы / Age, years	59	60	>0.05
Тяжесть по КТ / Severity according to CT	1.65	1.55	>0.05

Таблица 2. Встречаемость выпота в полости перикарда и плевры на компьютерных томограммах при поступлении, проанализированная по группам выписавшихся пациентов и пациентов с летальным исходом

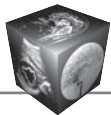
Table 2. Prevalence of pericardial and pleural effusion on CT at admission, analyzed by groups of discharged patients and patients with a fatal outcome

Все пациенты All patients	Выжившие Survivors n = 332 n (%)	Умершие Dead n = 58 n (%)	ОР p для Δ OR p for Δ
Выпот в плевральную полость >5 мм / Pleural effusion >5 mm	50 (15%)	29 (50%)	3.9
Абсолютный риск / Absolute risk	0.9	0.37	<0.05
Средняя толщина / Average thickness	13 mm	29 mm	
Выпот в перикардальную полость >5 мм / Pericardial effusion >5 mm	41 (12%)	33 (57%)	5.6
Абсолютный риск / Absolute risk	0.8	0.45	<0.05
Средняя толщина / Average thickness	6 mm	11 mm	

Обсуждение

В исследовании показано, что рассмотрение COVID-19-ассоциированного полисерозита с точки зрения ревматолога, когда мы отталкиваемся от факта поражения серозных оболочек, а не от механистической оценки объема экссудата, чтобы оценить значимость проблемы, приводит к более частому выявлению патологии. С одной стороны, это смещает фокус внимания и позволяет учитывать относительно небольшие выпоты, что, вероятно, более реалистично отражает статус поступающего в стационар пациента, так как ожидать выявления больших объемов экссудата у пациентов, спустя несколько дней после начала заболевания, не логично. С другой стороны, относительное увеличение встречаемости экссудации в 2022 г. при очевидном уменьшении патогенности вируса произошло именно за счет “малых” изменений. Имеется предположение, что это отражает сенсбилизацию, так как высоковероятно (хотя и невозможно утверждать из-за ограничений методов

исследования), что в 2022 г. львиная доля пациентов была уже привита или перенесла SARS-CoV-2, как минимум, один раз до настоящего случая пневмонии. Как известно, наличие аллергических и аутоиммунных заболеваний является фактором риска развития перикардита [4]. А тренд нарастания распространенности перикардита с новыми штаммами COVID-19 был отмечен уже в первый год пандемии [5]. С последним фактом согласуется, например, сравнение частоты долгосрочных изменений при КТ легких по результатам метаанализов 2022 и 2024 гг., где распространенность любой аномалии легких с течением времени увеличилась вдвое [1, 6]. Авторы последнего метаанализа объясняют сохранение или увеличение фиброзных изменений в легких через 12–24 мес после перенесенной инфекции персистированием локальной провоспалительной среды, вызванной инфильтрацией макрофагов и иммунных клеток в легкие и нарушением естественной гомеостатической функции восстановления тканей [1].



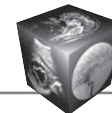
В исследовании 200 пациентов, амбулаторно обратившихся к кардиологу с дискомфортом в груди после COVID-19 в среднем через 5–12 нед от заражения, мы выявили встречаемость выпота в полость плевры по данным ультразвука около 6%, в полость перикарда – 51% пациентов [7]. Увеличение распространенности признаков плеврита у пациентов с тяжелой пневмонией в настоящем КТ-исследовании и превалирование изменений перикарда у пациентов с кардиологическими симптомами в отдаленном периоде в ЭхоКГ-исследовании укладывается в общую концепцию и подтверждает актуальность проблемы в различных группах пациентов. Как доказано, УЗИ грудной клетки является чувствительным инструментом для выявления изменений в легких, вызванных SARS-CoV-2, и хорошо коррелирует с КТ-визуализацией [8]. Различие же декларируемой распространенности серозитов у различных авторов объясняется как стадией болезни на момент исследования, так и принятым протоколом. Для примера: из множества публикаций по перикардиальному выпоту при COVID-19 интересно выделить исследование, демонстрирующее одну из наименьших частот выявления экссудации в стационаре – 4,6% [9]. Эта работа выполнена в США, где, как известно, ЭхоКГ делают технические специалисты, с большой долей вероятности использовался фаст-протокол, к тому же 55% из обследованных уже получали кортикостероиды к моменту ЭхоКГ. Однако авторы также отмечают, что 1/3 пациентов из группы с выпотом умерли в период госпитализации. В схожем с нашим ретроспективном исследовании, анализировавшем данные КТ грудной клетки 997 пациентов с острым COVID-19 при 30-дневной смертности 24%, перикардиальный выпот выявлялся у 13,3% пациентов [10]. В ходе многовариантного анализа было выявлено, что перикардиальная экссудация манифестировала независимо от поражения легких и увеличивала риск смерти за данный период на 60% в общей когорте исследования, преимущественно за счет мужчин. Исследователи Университетской клиники Франкфурта, обобщавшие данные исследования, сделали вывод, что наличие перикардиального выпота на компьютерной томограмме грудной клетки может служить ключевым индикатором краткосрочной смертности у мужчин с COVID-19 и должно быть расценено как дополнительный предиктор прогрессирования заболевания. В другом исследовании показано, что развившийся в ассоциации с SARS-CoV-2 перикардиальный выпот хронизируется в 70% случаев, а увеличение его объема связано с ростом

частоты последующих госпитализаций, сердечных и несердечных событий и смертности [11].

Регистрируемая частота плеврального выпота разнится в зависимости от тяжести инфекции и также влияет на прогноз. В нашем исследовании с критериями толщины >5 мм он составлял 20%, как и во многих исследованиях со схожими группами пациентов [12]. Систематический обзор, включавший 47 наблюдательных исследований, показал среднюю заболеваемость 7,3% [12], по данным метаанализа исследований общей взрослой популяции пациентов, которым была проведена КТ легких, распространенность выпота варьировала от 2 до 11% [13], при исследовании пациентов с тяжелой и крайне тяжелой ковидной пневмонией за 1–2 дня до смерти выпот более 1 см регистрировался у 16% [14], при мульти-системном воспалительном синдроме у детей, которые, как известно, склонны к более интенсивному иммунному ответу, достигал 63% [15]. В большинстве случаев выпот проявлялся на 2-й неделе заболевания, но при остром респираторном дистресс-синдроме наблюдался уже в течение первой недели заражения и был, преимущественно, нейтрофильным [13]. Среди причин развития плеврального выпота отмечают воздействие цитокинов и прямую инвазию вируса, что вызывает диффузное альвеолярное повреждение и повреждение эндотелия воспалительными клетками [16]. Что интересно, при заболевании более смертоносным вирусом ближневосточного респираторного синдрома (MERS) плевральная экссудация была намного выше – 33–55%, что также было связано с худшими исходами внутри популяции заболевших [17], а в одной работе летальный исход был зафиксирован у всех пациентов с плевральным выпотом [18].

Заключение

1/5 стационарных пациентов с COVID-19-пневмонией имеют небольшой выпот в серозные полости грудной клетки. Наличие экссудации в плевральную или перикардиальную полость, в дополнение к тяжелому поражению паренхимы легких ассоциируется с 4- и 5-кратным увеличением риска смерти таких пациентов. При неизменном среднем возрасте стационарных пациентов одного того же отделения и средней тяжести пневмонии встречаемость выпота в серозные полости >5 мм увеличилась в 1,5 раза за 3 года, что может свидетельствовать о сенсбилизации пациентов. Возможности современной КТ позволяют включать анализ небольшого по размерам выпота как предвестника худшего исхода. Это оправдано при



переходе от рассмотрения выпота в качестве парапневмонического сопутствующего осложнения к парадигме полисерозита как симптома системного иммунного воспаления.

Участие авторов

Сукмарова З.Н. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Паршин В.В. – проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи,

Шишиморов А.А. – проведение исследования, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Громов А.И. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Sukmarova Z.N. – concept and design of the study, conducting research, concept and design of the study, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

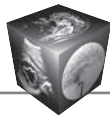
Parshin V.V. – conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Shishimorov A.A. – conducting research, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Gromov A.I. – concept and design of the study, concept and design of the study, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Babar M., Jamil H., Mehta N. et al. Short- and Long-Term Chest-CT Findings after Recovery from COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diagnostics*. 2024; 14 (6): 621. <http://doi.org/10.3390/diagnostics14060621>
2. Stoian M., Procopiescu B., Şeitan S., Scarlat G. Post-COVID-19 syndrome: Insights into a novel post-infectious systemic disorder. *J. Med. Life*. 2023; 16 (2): 195–202. <http://doi.org/10.25122/jml-2022-0329>
3. Сукмарова З.Н., Ибрагимова Ф.М., Баев А.А., Осипова Н.Ю., Громов А.И. Выпот в полость плевры и перикарда, случайно выявленный при магнитно-резонансной томографии молочных желез у пациенток, перенесших COVID-19: ретроспективное исследование случай-контроль. *Лучевая диагностика и терапия*. 2022; 14 (1): 54–65. <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-1-54-65>
4. Sukmarova Z.N., Ibragimova F.M., Baev A.A. et al. Pleural and pericardial effusion incidentally detected on breast magnetic resonance imaging in post-COVID-19 patients: retrospective case-control study. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2023; 14 (1): 37–48. <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-1-54-65> (In Russian)
5. Dini F.L., Baldini U., Bytçi I. et al. Acute pericarditis as a major clinical manifestation of long COVID-19 syndrome. *Int. J. Cardiol*. 2023; 374: 129–134. <http://doi.org/10.1016/j.ijcard.2022.12.019>
6. Li P., Shi A., Lu X. et al. Incidence and impact of acute pericarditis in hospitalized COVID-19 patients. *J. Am. Heart. Assoc*. 2023; 12: e028970. <http://doi.org/10.1161/JAHA.122.028970>
7. Watanabe A., So M., Iwagami M. et al. One-year follow-up CT findings in COVID-19 patients: A systematic review and meta-analysis. *Respirology*. 2022; 27: 605–616. <http://doi.org/10.1111/resp.14311>
8. Сукмарова З.Н., Ибрагимова Ф.М., Ларина О.М., Громов А.И., Насонов Е.Л. Плеврит и перикардит как причина атипичной боли в грудной клетке у пациентов в раннем периоде после COVID-19. *Медицинская визуализация*. 2022; 26 (4): 11–22. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-1232>
9. Sukmarova Z.N., Ibragimova F.M., Larina O.M. et al. Pleurisy and pericarditis as a cause of atypical chest pain in patients with in early post-COVID-19 period. *Medical Visualization*. 2022; 26 (4): 11–22. <http://doi.org/10.24835/1607-0763-1232> (In Russian)
10. Ottaviani S., Franc M., Ebstein E. et al. Lung ultrasonography in patients with COVID-19: comparison with CT. *Clin. Radiol*. 2020; 75: 877.e1-6. <http://doi.org/10.1016/j.crad.2020.07.024>
11. Al-Tarbsheh A.H., Leamon A., Chong W.H. et al. Pericardial effusion in COVID-19 patients. *Am. J. Med. Sci*. 2022; 364 (1): 129–130. <http://doi.org/10.1016/j.amjms.2022.01.024>
12. Bucher A.M., Henzel K., Meyer H.J. et al. Pericardial Effusion Predicts Clinical Outcomes in Patients with COVID-19: A Nationwide Multicenter Study. *Acad. Radiol*. 2024; 31 (5): 1784–1791. <http://doi.org/10.1016/j.acra.2023.12.003>
13. Saraç İ., Aydın S.Ş., Özmen M. et al. Prevalence, Risk Factors, Prognosis, and Management of Pericardial Effusion in COVID-19. *J. Cardiovasc. Dev. Dis*. 2023; 10 (9): 368. <http://doi.org/10.3390/jcdd10090368>
14. Chong W.H., Saha B.K., Conuel E., Chopra A. The incidence of pleural effusion in COVID-19 pneumonia: State-of-the-art review. *Heart Lung*. 2021; 50 (4): 481–490. <http://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2021.02.015>
15. Saha B.K., Chong W.H., Austin A. et al. Pleural abnormalities in COVID-19: a narrative review. *J. Thorac. Dis*. 2021; 13 (7): 4484–4499. <http://doi.org/10.21037/jtd-21-542>



14. Паршин В.В., Бережная Э.Э., Кецкало М.В., Лежнев Д.А. Компьютерно-томографическая семиотика, объем поражения легких и морфологические сопоставления у больных пневмонией (COVID-19) тяжелой и крайне тяжелой степени. *Радиология-практика*. 2021; 1: 34–51.
Parshin V.V., Berezhnaia E.E., Ketskalo M.V., Lezhnev D.A. The Computer-Tomographic Semiotics, Volume of Lung Damage and Morphological Comparisons in Patients with Severe and Extremely Severe Coronavirus Pneumonia (COVID-19). *Radiology-Practice*. 2021; 1: 34–51. (In Russian)
15. Blumfield E., Levin T.L., Kurian J. et al. Imaging Findings in Multisystem Inflammatory Syndrome in Children (MIS-C) Associated With Coronavirus Disease (COVID-19). *Am. J. Roentgenol*. 2021; 216: 507–517.
<http://doi.org/10.2214/AJR.20.24032>
16. Ducloyer M., Gaborit B., Toquet C. et al. Complete post-mortem data in a fatal case of COVID-19: clinical, radiological and pathological correlations. *Int. J. Legal. Med.* 2020; 134: 2209–2214.
<http://doi.org/10.1007/s00414-020-02390-1>
17. Zhu Z., Lian X., Su X. et al. From SARS and MERS to COVID-19: a brief summary and comparison of severe acute respiratory infections caused by three highly pathogenic human coronaviruses. *Respir. Res.* 2020; 21 (1): 224. <http://doi.org/10.1186/s12931-020-01479-w>
18. Das K.M., Lee E.Y., Enani M.A. et al. CT correlation with outcomes in 15 patients with acute Middle East respiratory syndrome coronavirus. *Am. J. Roentgenol*. 2015; 204 (4): 736–742. <http://doi.org/10.2214/AJR.14.13671>

Для корреспонденции*: Сукмарова Зульфия Наилевна – e-mail: suzulfia@gmail.com

Сукмарова Зульфия Наилевна – канд. мед. наук, научный сотрудник ФГБНУ “НИИ ревматологии им. В.А. Насоновой”, Москва.
<https://orcid.org/0000-0002-7858-7820>

Паршин Василий Владимирович – доктор мед. наук, заведующий рентгеновским отделением ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница № 52 ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3783-3412>

Шишиморов Алексей Андреевич – врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница № 52 ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0004-5466-6948>

Громов Александр Игоревич – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

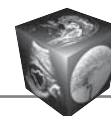
Contact*: Zulfiya N. Sukmarova – e-mail: suzulfia@gmail.com

Zulfiya N. Sukmarova – Cand. of Sci. (Med.), research fellow, V.A. Nasonova Research Institute of Rheumatology, Moscow.
<https://orcid.org/0000-0002-7858-7820>

Alexey A. Shishimorov – Radiologist of radiology department, City Clinical Hospital No52 of Moscow Healthcare Department, Moscow.
<https://orcid.org/0009-0004-5466-6948>

Vasily V. Parshin – Radiologist, Head of radiology department, City Clinical Hospital No52 of Moscow Healthcare Department, Moscow.
<https://orcid.org/0000-0003-3783-3412>

Alexander I. Gromov – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Radiation Diagnostics, Russian University of Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>



Определение гистологического типа рака легких на основе радиомического анализа данных компьютерной томографии

© Солодкий В.А.¹, Нуднов Н.В.^{1, 2, 3}, Карелидзе Д.Г.^{1*}, Борисов А.А.⁴, Султанова П.Н.¹, Иванников М.Е.⁵, Шахвалиева Э.С.⁶

¹ ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

⁴ ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”; 109029 Москва, Средняя Калитниковская ул., д. 28, стр. 1, Российская Федерация

⁵ ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница имени А.К. Ерамишанцева ДЗ города Москвы”; 129327 Москва, ул. Ленская, д. 15, Российская Федерация

⁶ ГБУЗ города Москвы “Детская городская клиническая больница № 9 им. Г.Н. Сперанского ДЗ города Москвы”; 123317 Москва, Шмитовский проезд, д. 29, Российская Федерация

Рак легких является одним из самых распространенных онкологических заболеваний. Для морфологической верификации опухоли используются бронхоскопия и трансторакальная биопсия легких под контролем компьютерной томографии (КТ). Обе эти технологии являются инвазивными с определенными рисками и высокими затратами. Точность морфологически верифицированного диагноза рака легкого в России достигает в среднем 88,2%. От гистологического типа рака легких зависят тактика лечения, характер течения и прогноз заболевания. “Золотым стандартом” диагностики рака легких является КТ органов грудной клетки. Развивающимся направлением обработки КТ-изображений является радиомика – математический анализ данных лучевых методов исследований, позволяющий выявлять особенности текстуры ткани на уровне, недоступном глазу врача-рентгенолога. Применение методов радиомики может способствовать определению гистологического типа рака легкого еще на этапе диагностического поиска.

Цель исследования: разработка метода определения наиболее распространенных гистологических типов рака легких на основе текстурного анализа КТ-изображений органов грудной клетки.

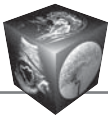
Материал и методы. В исследование были включены данные 200 пациентов, проходивших лечение в РНЦРР с гистологически подтвержденным раком легкого, из них 100 пациентов с мелкоклеточным раком легкого, 100 пациентов с немелкоклеточным раком легкого (50 из них с аденокарциномой и 50 – с плоскоклеточным раком легкого). Для каждого образования было рассчитано 107 радиомических показателей. Построение моделей машинного обучения производилось на языке программирования Python 3.10 с использованием специализированных библиотек. Для выбора наиболее эффективных моделей использовались стандартные метрики машинного обучения: precision, recall, accuracy, f1-мера и площадь под характеристической кривой (ROC-AUC).

Результаты. Разработаны различные модели машинного обучения, наилучшими метриками обладали градиентный бустинг для дифференцировки немелкоклеточного рака легкого и мелкоклеточного рака легкого с площадью под ROC-кривой 0,973 и случайный лес на основе трех деревьев для дифференцировки аденокарциномы и плоскоклеточного рака легкого с площадью под ROC-кривой 0,833.

Заключение. Разработанные нами модели классификации обладают высокими метриками диагностической точности, что позволяет говорить о применимости показателей радиомики для дифференцировки различных типов рака легкого на этапе диагностического поиска, а также в ситуациях с невозможностью получения материала для гистологического исследования.

Ключевые слова: рак легкого; виртуальная биопсия; радиомика; текстурный анализ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.



Для цитирования: Солodкий В.А., Нуднов Н.В., Карелидзе Д.Г., Борисов А.А., Султанова П.Н., Иванников М.Е., Шахвалиева Э.С. Определение гистологического типа рака легких на основе радиомического анализа данных компьютерной томографии. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (2): 29–38. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1519>

Поступила в редакцию: 02.12.2024.

Принята к печати: 19.12.2024.

Опубликована online: 18.04.2025.

Determination of the histological type of lung cancer based on radiomic analysis of computed tomography chest images

© Vladimir A. Solodkiy¹, Nikolay V. Nudnov^{1, 2, 3}, David G. Karelidze^{1*}, Aleksandr A. Borisov⁴, Peri N. Sultanova¹, Mikhail E. Ivannikov⁵, Elina S.-A. Shakhvalieva⁶

¹ Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

⁴ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department; 24, Petrovka str., Moscow 127051, Russian Federation

⁵ A.K. Yeramishantsev City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department; 15, Lenskaya str., Moscow 129327, Russian Federation

⁶ G.N. Speransky Children's City Clinical Hospital No. 9 of Moscow Healthcare Department; 29, Shmitovsky passage, Moscow 123317, Russian Federation

Lung cancer is one of the most common cancers. Bronchoscopy and transthoracic lung biopsy under the control of computed tomography (CT) are used for morphological verification of the tumor. Both of these technologies are invasive with certain risks and high costs. The accuracy of the morphologically verified diagnosis of lung cancer in Russia reaches an average of 88.2%. Treatment tactics, progression and prognosis of the disease depends on the histological type of lung cancer. The gold standard for lung cancer diagnosis is computed tomography of the chest. A developing area of CT image processing is radiomics, a mathematical analysis of data from radiation research methods that allows the detection of tissue texture features at a level inaccessible to the eye of a radiologist. The use of radiomics methods can contribute to the determination of the histotype of lung cancer even at the stage of diagnostic search.

Objective: to determine the most common histological types of lung cancer based on the textural analysis of CT-scans of the chest organs.

Materials and methods. The study included data from 200 patients treated at the RSCRR with histologically confirmed lung cancer, including 100 patients with small-cell lung cancer, 100 patients with non-small cell lung cancer (50 of them with adenocarcinoma and 50 with squamous cell carcinoma). 107 radiomic features were calculated for each tumor. Machine learning models were built in the Python 3.10 programming language using specialized libraries. To select the most effective models, standard machine learning metrics were used: precision, recall, accuracy, f1-measure and the area under the receiver operating characteristic curve (ROC-AUC).

Results. Several machine learning models were developed, the best metrics were gradient boosting for differentiating non-small cell lung cancer and small-cell lung cancer with ROC-AUC 0.973 and a random forest based on three trees for differentiating adenocarcinoma and squamous cell carcinoma with ROC-AUC 0.833.

Conclusion. Classification models developed by us have high metrics of diagnostic accuracy, which allows us to discourse about the applicability of radiomics features for differentiating various types of lung cancer at the stage of diagnostic search, as well as in situations where it is impossible to obtain material for histological examination.

Keywords: lung cancer; virtual biopsy; radiomics; texture analysis

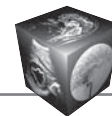
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Solodkiy V.A., Nudnov N.V., Karelidze D.G., Borisov A.A., Sultanova P.N., Ivannikov M.E., Shakhvalieva E.S.-A. Determination of the histological type of lung cancer based on radiomic analysis of computed tomography chest images. *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 29–38. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1519>

Received: 02.12.2024.

Accepted for publication: 19.12.2024.

Published online: 18.04.2025.



Введение

Рак легких является одним из самых распространенных онкологических заболеваний, занимающая первое место по заболеваемости среди других злокачественных новообразований у мужчин в России и первое место по летальным исходам среди мужчин и женщин как в России, так и во всем мире [1].

В настоящее время выделяют следующие гистологические типы рака легких: немелкоклеточный рак (НМРЛ), включающий аденокарциному, плоскоклеточный рак и крупноклеточную карциному, и мелкоклеточный рак (МРЛ). НМРЛ встречается чаще и протекает медленнее, а МРЛ характеризуется меньшей распространенностью, но более быстрым ростом [1, 2].

НМРЛ составляет более 80% случаев рака легких. Согласно критериям классификации ВОЗ, аденокарцинома легких (АДК) и плоскоклеточный рак легких (ПКРЛ) являются двумя преобладающими подтипами НМРЛ, которые вызывают около 40 и 30% случаев рака легких соответственно [1, 3].

В настоящее время наиболее широко используемыми методами получения ткани опухоли для морфологической верификации являются бронхоскопия и трансторакальная биопсия легких под контролем компьютерной томографии (КТ) [4]. Однако обе эти технологии являются инвазивными с определенными рисками и высокими затратами. Кроме того, для некоторых форм рака легких, прилежащих к средостению, аорте и другим крупным кровеносным сосудам, биопсия под контролем КТ является высокорискованной и сложной, в то время как бронхоскопия имеет ограничение для новообразований, расположенных ниже бронхов 5-го порядка. Также в тех случаях, когда патологический очаг менее 1,5 см, возможность получить материал для исследования существенно снижается [5, 6].

Показатели удельного веса морфологически верифицированного диагноза рака легкого достигают в среднем 88,2% в России, ниже только у опухолей печени и поджелудочной железы. У значительной части больных заболевание верифицируется по данным только цитологического исследования [1, 7].

От гистологического типа рака легких зависят тактика лечения, характер течения и прогноз заболевания.

Стандартная операция при НМРЛ I–II стадии – лобэктомия или билобэктомия. У больных с III стадией хирургический метод сочетается с химиотерапией или лучевым лечением либо их комбинацией [1].

Основным методом терапии МРЛ является химиолучевое лечение. Хирургическое лечение осуществляется только для I стадии и в отдельных случаях при II стадии с обязательной адъювантной химиотерапией [1].

МРЛ является более агрессивной формой рака легкого. Так, у 80% пациентов при первичном обращении выявляют метастатическое (IV стадия или распространенная форма) поражение и лишь у 20% – локализованную форму I–III стадии [1, 8].

Прогноз также сильно варьирует в зависимости от гистологического типа и стадии. У больных с операбельным НМРЛ пятилетняя выживаемость может достигать более 70% при стадии IA, но лишь 20% при увеличении стадии до IIIA. Лишь 5% больных МРЛ при первичном обращении имеют I стадию болезни; у таких больных пятилетняя выживаемость составляет 50% [1, 9].

В настоящее время “золотым стандартом” диагностики рака легких является КТ органов грудной клетки, по данным которой можно оценить распространенность, размеры и форму патологического очага, однако выявление гистологического типа по данным КТ невозможно [10, 11].

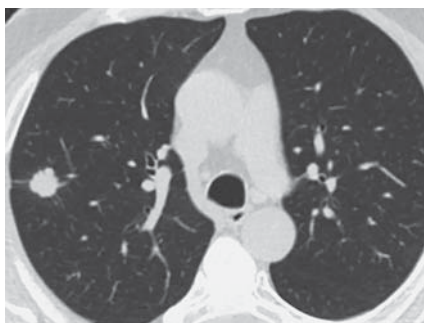


Рис. 1. Мелкоклеточный рак легкого.
Fig. 1. Small-cell lung cancer.

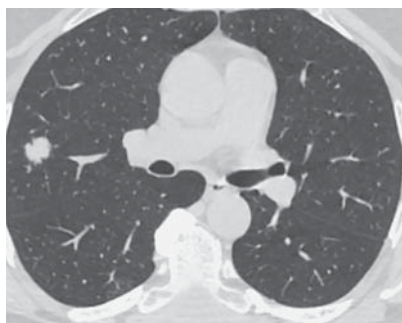


Рис. 2. Аденокарцинома легкого.
Fig. 2. Lung adenocarcinoma.

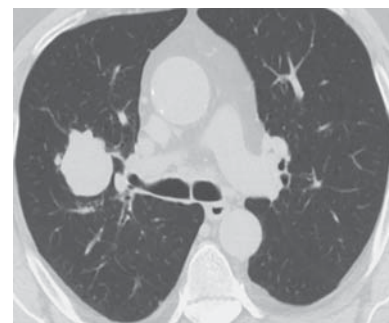
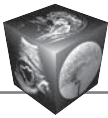


Рис. 3. Плоскоклеточный рак легкого.
Fig. 3. Squamous-cell lung cancer.



В одном из клинических наблюдений у пациента с периферическим МРЛ (рис. 1) на серии компьютерных томограмм выявлено солидное мягкотканное образование с четкими неровными контурами, которое визуально не отличалось от образования у другого пациента с АДК (рис. 2) аналогичной локализации и размеров. В третьем случае у пациента с периферической формой ПКРЛ (рис. 3) также наблюдалось образование с равномерной структурой и четкими неровными контурами, которое не проявляло характерных признаков, позволяющих визуально отличить ее от двух предыдущих гистологических типов. Модели на основе радиомических признаков на этапе диагностики классифицировали образования так же, как и гистологическое исследование постоперационного материала.

Развивающимся направлением обработки КТ-изображений является радиомика – математический анализ данных лучевых методов исследований, позволяющий выявлять особенности текстуры ткани на уровне, недоступном глазу врача-рентгенолога. Применение методов радиомики может способствовать определению гистологического типа рака легкого еще на этапе диагностического поиска [12].

Цель исследования: разработка метода определения наиболее распространенных гистологических типов рака легких на основе текстурного анализа КТ-изображений органов грудной клетки.

Материал и методы

В исследование были включены данные 200 пациентов, проходивших лечение в РНЦРР с гистологически подтвержденным раком легкого, из них 100 пациентов с МРЛ, 100 пациентов с НМРЛ (50 из них с АДК и 50 – с ПКРЛ).

Критериями включения являлись:

- наличие гистологической верификации опухоли;
- наличие КТ-исследования органов грудной клетки до хирургического, химио- и лучевого лечения с толщиной среза 1 мм;
- возраст пациентов старше 18 лет.

Сегментация областей интереса проводилась вручную тремя врачами-рентгенологами на нативной фазе исследования в бесплатном программном обеспечении 3D-Slicer с функцией выгрузки показателей радиомики из областей интереса.

Для каждого образования было рассчитано 107 радиомических показателей. В исследовании участвовало 148 мужчин и 52 женщины. Средний возраст пациентов составлял 65 [59; 70] лет.

Данные были разделены на обучающую и тестовую выборки с процентным соотношением 60:40%. Для сокращения признакового пространства использовался корреляционный анализ с применением критерия Пирсона, а также проводилась оценка значимости каждого признака мерой *feature importances* на основе лесов решений и LASSO-регрессией. Построение моделей машинного обучения производилось на языке программирования Python 3.10 с использованием специализированных библиотек. Были построены 4 модели машинного обучения: дерево решений, случайный лес, логистическая регрессия и градиентный бустинг (LGBM) – метод, основанный на оптимизации деревьев решений путем настройки градиентного спуска. Для каждой модели были подобраны наиболее эффективные гиперпараметры.

Для выбора наиболее эффективных моделей использовались стандартные метрики машинного обучения: *precision*, *recall*, *accuracy*, *f1-мера* и площадь под характеристической кривой ROC-AUC.

Результаты исследования

Исследование проводилось в два этапа: на первом этапе осуществлялся поиск наиболее эффективной модели для дифференцировки НМРЛ и МРЛ, на втором этапе – АДК и ПКРЛ.

Дифференцировка НМРЛ и МРЛ

Сокращение признакового пространства

Проведен корреляционный анализ с применением критерия Пирсона для исключения сильно коррелирующих признаков с порогом = 0,8. Таким образом, из 107 показателей радиомики было отобрано 35.

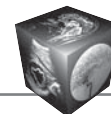
На следующем этапе для отбора наиболее значимых признаков была построена Lasso-регрессия. В результате было получено 2 признака: *Skewness* (показатели статистики первого порядка) и *Gray Level Variance* (матрицы GLRLM).

Построение моделей машинного обучения

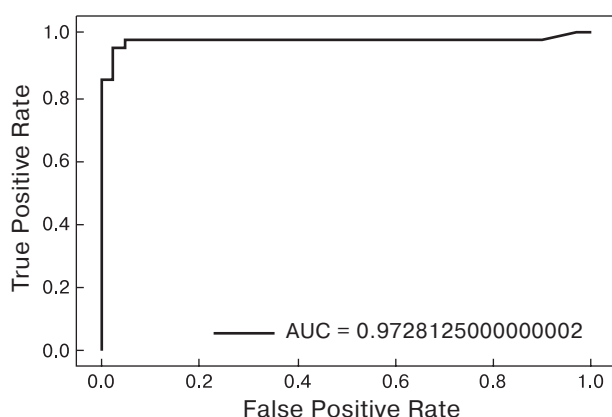
Результаты работы моделей для обучающей и тестовой выборок представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, наилучшими метриками обладает модель на основе градиентного бустинга с площадью под ROC-кривой 0,973 на тестовой выборке (рис. 4).

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что показатель *Skewness*, показывающий асимметрию распределения значений уровня серого относительно среднего, в среднем более чем в 3 раза выше в группе пациентов с МРЛ, что свидетельствует о более неоднородной текс-

**Таблица 1.** Результаты моделей машинного обучения для дифференцировки НМРЛ и МРЛ**Table 1.** Results of machine learning models for differentiating non-small cell and small cell lung cancer

	Метрика Metrics	Модель машинного обучения Machine learning model			
		дерево решений decision tree	случайный лес из трех деревьев random forest of 3 trees	логистическая регрессия logistic regression	градиентный бустинг LGBMClassifier gradient boosting LGBM Classifier
Обучающая выборка Training set	Precision	1.0	0.952	0.951	1.0
	Recall	1.0	0.983	0.967	0.983
	Accuracy	1.0	0.967	0.958	0.992
	F1-score	1.0	0.967	0.959	0.992
	ROC-AUC	1.0	0.975	0.986	0.999
Тестовая выборка Test set	Precision	0.974	0.927	0.927	0.951
	Recall	0.925	0.950	0.950	0.975
	Accuracy	0.950	0.938	0.938	0.963
	F1-score	0.949	0.938	0.938	0.963
	ROC-AUC	0.950	0.944	0.951	0.973

**Рис. 4.** ROC-кривая для модели на основе градиентного бустинга для дифференцировки НМРЛ и МРЛ.**Fig. 4.** ROC curve for a gradient boosting model for differentiating non-small cell and small cell lung cancer.

туре МРЛ относительно НМРЛ. Показатель Gray Level Variance (матрицы GLRLM) в группе с МРЛ в среднем в 20 раз выше, чем в группе пациентов с НМРЛ, что показывает более высокую дисперсию интенсивностей длин уровней серого, что также свидетельствует о большей разнородности ткани МРЛ.

Полученные нами метрики диагностической точности подтверждают, что радиомические признаки позволяют с высокой точностью дифференцировать два основных гистологического типа рака легкого по данным первичного КТ-исследования.

Дифференцировка АДК и ПКРЛ

Сокращение признакового пространства

Проведен корреляционный анализ с применением критерия Пирсона для исключения сильно коррелирующих признаков с порогом 0,8. Таким образом, из 107 показателей радиомики было отобрано 34.

На следующем этапе была рассчитана мера feature importances для отбора наиболее значимых признаков. В результате было получено 4 признака: Entropy (статистики первого порядка), Cluster Prominence (матрицы GLCM), Large Area Emphasis (матрицы GLSZM), Idmn (матрицы GLCM).

Построение моделей машинного обучения

Результаты работы моделей для обучающей и тестовой выборок представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наилучшими метриками обладает модель на основе случайного леса с площадью под ROC-кривой 0,833 на тестовой выборке (рис. 5).

По полученным результатам можно сделать обоснованный вывод о том, что показатель Entropy выше в группе АДК, что свидетельствует о большей вариабельности значений уровней внутри опухоли. Показатель Cluster Prominence в группе АДК в 4 раза выше, чем у плоскоклеточных форм рака, что показывает больший разброс значений уровней серого от среднего значения внутри опухоли, что также свидетельствует о большей гетерогенности АДК. Показатель Large Area Emphasis существенно выше у плоскоклеточных форм рака, что подтверждает присутствие внутри них крупных

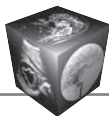


Таблица 2. Результаты использования моделей машинного обучения для дифференцировки АДК и ПКРЛ
Table 2. Results of use of machine learning models for differentiating adenocarcinoma and squamous cell carcinoma

	Метрика Metrics	Модель машинного обучения Machine learning model			
		дерево решений decision tree	случайный лес из трех деревьев random forest of 3 trees	логистическая регрессия logistic regression	градиентный бустинг LGBMClassifier gradient boosting LGBM Classifier
Обучающая выборка Training set	Precision	0.854	0.895	0.667	0.970
	Recall	1.0	0.971	0.743	0.914
	Accuracy	0.914	0.929	0.686	0.943
	F1-score	0.921	0.932	0.703	0.941
	ROC-AUC	0.970	0.976	0.727	0.992
Тестовая выборка Test set	Precision	0.632	0.813	0.700	0.667
	Recall	0.800	0.867	0.933	0.800
	Accuracy	0.667	0.833	0.767	0.700
	F1-score	0.706	0.839	0.800	0.727
	ROC-AUC	0.671	0.833	0.796	0.684

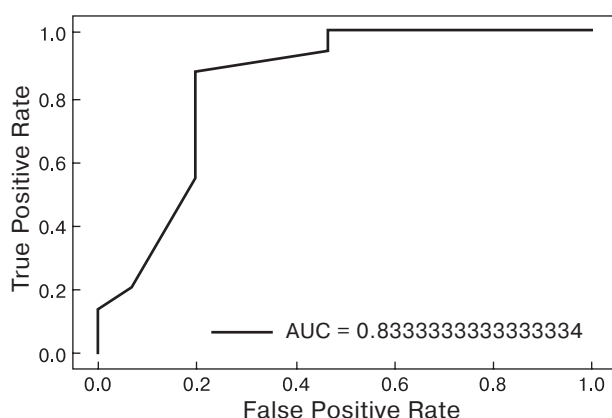


Рис. 5. ROC-кривая для модели на основе случайного леса для дифференцировки АДК и ПКРЛ.

Fig. 5. ROC curve for the random forest model for differentiating adenocarcinoma and squamous cell carcinoma.

зон одного уровня серого и в целом более грубую текстуру опухоли. Показатель Idmn также выше в группе с плоскоклеточным раком, что свидетельствует о крупных зонах с локальной однородностью.

Таким образом, АДК как группа отличаются более гетерогенной текстурой, чем плоскоклеточные формы рака легкого.

Полученные нами метрики диагностической точности подтверждают перспективность использования радиомических признаков для дифференциальной диагностики данных типов рака легкого. Однако выявленные нами закономерности

менее выражены, чем в группах НМРЛ и МРЛ, что убеждает в необходимости дальнейших исследований в этой области с анализом большего количества данных.

Обсуждение

Вопрос применения радиомики в диагностике рака легкого широко освещен в научной литературе, но исследований, посвященных дифференцировке немелкоклеточного и мелкоклеточного рака легкого, встречается не так много. Так, В.Т. Chen и соавт. получили для модели дифференцировки АДК и МРЛ площадь под ROC-кривой (ROC-AUC) 0,93 [13]. Как отмечают сами авторы, данное исследование является пилотным и основано только на радиомических данных от небольшой выборки из 69 пациентов. Данные ограничения отсутствуют в работе J. Wang и соавт., где модель классификации периферических АДК и МРЛ, основанная на комбинации клинических, рентгенологических и радиомических данных 240 пациентов, показала ROC-AUC 0,967 в валидационной выборке [14]. Подобные показатели однозначно вызывают интерес, но обе работы имеют важное ограничение – отсутствие в выборках пациентов с плоскоклеточным раком. Эта проблема устранена в исследовании Е. Linning и соавт., где созданы три классификационные модели: АДК и ПКРЛ, АДК и МРЛ, МРЛ и ПКРЛ [15]. Авторы также использовали не только нативные КТ-серии, но и артериальные и венозные фазы. Наилучшие результаты (ROC-AUC – 0,864, 0,864 и 0,664 соответственно) получены



при использовании радиомических показателей, извлеченных в венозную фазу. Интересно, что в исследовании L. Huanhuan и соавт. с такими же моделями, но при использовании только артериальных фаз ROC-AUC составили 0,879, 0,836, 0,783 соответственно, что, за исключением модели АДК и МРЛ, выше, чем в предыдущем исследовании [16].

В нашей работе мы сознательно отказались от использования контрастных серий. Наше решение основано на предположении, что дополнительная вариабельность в характеристиках изображения может негативно сказаться на воспроизводимости показателей и эффективности работы моделей. Помимо этого, частота проведения контрастных КТ-исследований у пациентов с раком легкого в целом по популяции невысока [1].

Наше исследование наиболее схоже со второй работой E. Linning и соавт., где на основе нативных КТ-серий 278 пациентов были созданы модели классификации НМРЛ и МРЛ, АДК и ПКРЛ, ROC-AUC которых составила 0,741 и 0,655 соответственно, что ниже полученных нами результатов [17].

Интересный подход в дифференцировке новообразований легкого выбрали R. Shah и соавт. [18]. В основу их исследования был положен факт, что среди легочных неоплазий МРЛ обладает наилучшим прогнозом и поэтому должен быть выявлен в первую очередь и как можно раньше. Исходя из этого, авторы отобрали нативные и постконтрастные КТ-серии у пациентов с МРЛ, НМРЛ, а также с доброкачественными и неопухолевыми образованиями. Извлеченные из этих серий показатели радиомики использовались для создания модели дифференцировки между МРЛ и любыми другими образованиями, как злокачественными, так и доброкачественными. Наилучшие результаты показал метод случайного леса на основе постконтрастных КТ-серий (ROC-AUC – 0,88). В нашей работе мы не использовали изображения с доброкачественными и неопухолевыми образованиями. Данное ограничение считаем необходимым, так как вопрос дифференцировки доброкачественных, неопухолевых и злокачественных образований легких является отдельным большим направлением, выходящим за рамки нашего исследования.

Еще один необычный подход встречается в работе J. Qi и соавт., где авторы, используя нативные КТ-серии 417 пациентов, создали единую модель классификации МРЛ, АДК и ПКРЛ с ROC-AUC для каждого гистологического подтипа 0,87, 0,84 и 0,76 соответственно [17]. Хотя эти метрики ниже, чем наши, важно отметить, что данная модель дополнительно обучена локализовать образование на изображении. Этот факт способен значи-

тельно упростить ее использование в клинической практике.

В литературе встречаются отдельные примеры исследований, направленных исключительно на дифференцировку АДК и ПКРЛ, в которых ROC-AUC выше, чем у нашей модели [19–21]. Важно отметить, что наша модель классификации АДК и ПКРЛ обладает преимуществом по сравнению с ними, так как она рассчитана на работу в связке с моделью классификации МРЛ и НМРЛ. Хотя в задачи нашего исследования не входила более точная дифференцировка гистологических подтипов НМРЛ, важно отметить, что существует несколько исследований, где, помимо АДК и ПКРЛ, также классифицируются крупноклеточный и недифференцированный рак легкого [22–24]. Данные подтипы встречаются гораздо реже, поэтому не были включены в нашу работу.

Заключение

Нами разработаны модели машинного обучения для дифференцировки НМРЛ и МРЛ с площадью под ROC-кривой 0,973 и дифференцировки АДК и ПКРЛ с площадью под ROC-кривой 0,833. Данные модели классификации обладают высокими метриками диагностической точности, что позволяет говорить о применимости показателей радиомики для дифференцировки различных типов рака легкого уже на этапе диагностического поиска, а также в ситуациях с невозможностью получения материала для гистологического исследования. В дальнейшем планируется расширение выборки с включением более редких форм рака легкого и проведение многоцентровых исследований, что позволит повысить воспроизводимость наших результатов и применимость моделей в клинической практике.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы и подготовке статьи.

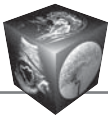
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Участие авторов

Солодкий В.А. – ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Нуднов Н.В. – ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Карелидзе Д.Г. – обзор публикаций по теме статьи, концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, проведение исследования, анализ и интерпре-



тация полученных данных, статистическая обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Борисов А.А. – обзор публикаций по теме статьи, концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Султанова П.Н. – обзор публикаций по теме статьи, концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Иванников М.Е. – обзор публикаций по теме статьи, концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Шахвалиева Э.С. – обзор публикаций по теме статьи, концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Solodkiy V.A. – responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Nudnov N.V. – responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Karelidze D.G. – review of publications, concept and design of the study, collection and analysis of data, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, analysis and interpretation of the obtained data, statistical analysis, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Borisov A.A. – review of publications, concept and design of the study, collection and analysis of data, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, analysis and interpretation of the obtained data, statistical analysis, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Sultanova P.N. – review of publications, concept and design of the study, collection and analysis of data, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, analysis and interpretation of the obtained data, statistical analysis, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Ivannikov M.E. – review of publications, concept and design of the study, collection and analysis of data, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, analysis and interpretation of the obtained data, statistical analysis, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Shakhvalieva E.S.-A. – review of publications, concept and design of the study, collection and analysis of data, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, analysis and interpretation of the obtained

data, statistical analysis, text preparation and editing, preparation and creation of the published work.

Список литературы [References]

1. Клинические рекомендации “Злокачественное новообразование бронхов и легкого”, 2021. Russian clinical guidelines “Malignant neoplasm of bronchi and lung”, 2021. (In Russian)
2. Singh G., Singh A., Dave R. An Update on WHO Classification of Thoracic Tumours 2021-Newly Described Entities and Terminologies. *J. Clin. Diagn. Res.* 2023; 17 (6): EE01–EE05. <https://www.doi.org/10.7860/JCDR/2023/62583/18076>
3. Рак легкого / Под ред. К.К. Лактионова и В.В. Бредера. М.: “ГРАНАТ”, 2020. Lung cancer / Eds by K.K. Laktionov, V.V. Breder. M.: “GARNET”, 2020. (In Russian)
4. Соколов В.В., Соколов Д.В., Пирогов С.С., Каприн А.Д., Рябов А.Б., Рябов А.Б., Кудрявцева Ю.Л., Струнина А.А. Современная бронхоскопическая диагностика раннего центрального рака легкого (обзор литературы). *Медицинский совет.* 2016; 15: 62–66. <http://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-15-62-66> Sokolov V.V., Sokolov D.V., Pirogov S.S. et al. Modern bronchoscopic diagnosis of early central lung cancer (literature review). *Medical Council.* 2016; 15: 62–66. <http://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-15-62-66> (In Russian)
5. Алахвердиев А.К., Лактионов К.К., Полоцкий Б.Е. и др. Современные возможности видеоторакоскопии в практике торакальной онкологии. *Вестник Московского онкологического общества.* 2009; 6–8 (559). Allakhverdiev A.K., Laktionov K.K., Polotsky B.E. et al. Modern possibilities of videothoracoscopy in the practice of thoracic oncology. *Bulletin of the Moscow Oncological Society.* 2009; 6–8 (559). (In Russian)
6. Бурдюков М.С., Юричев И.Н., Нечипай А.М., Чистякова О.В., Лактионов К.К., Долгушин Б.И., Назлиев П.Б., Маринов Д.Т., Унгадзе Г.В. Роль тонкоигльной пункции под контролем эндоскопической ультрасонографии в морфологической верификации рака легкого. *Клиническая и экспериментальная хирургия.* 2015; 4: 63–72. Burdyukov M.S., Yurichev I.N., Nechipai A.M. et al. The role of fine needle puncture under the control of endoscopic ultrasonography in the morphological verification of lung cancer. *Clinical and Experimental Surgery.* 2015; 4: 63–72. (In Russian)
7. Tang Y., Tian S., Chen H. et al. Transbronchial lung cryobiopsy for peripheral pulmonary lesions. A narrative review. *Pulmonology.* 2024; 30 (5): 475–484. <http://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2023.08.010>
8. Lee J.H., Saxena A., Giaccone G. Advancements in small cell lung cancer. *Semin. Cancer Biol.* 2023; 93: 123–128. <http://doi.org/10.1016/j.semcancer.2023.05.008>
9. Megyesfalvi Z., Gay C.M., Popper H. et al. Clinical insights into small cell lung cancer: Tumor heterogeneity, diagnosis, therapy, and future directions. *CA Cancer J. Clin.* 2023; 73 (6): 620–652. <http://doi.org/10.3322/caac.21785>
10. Лагуева И.Д., Черниченко Н.В., Котляров П.М., Солдатов Д.Г., Солодкий В.А. Диагностика и дифференциальная диагностика очаговых образований легких. *Пульмонология.* 2024; 34 (4): 533–543. <http://doi.org/10.18093/0869-0189-2024-34-4-533-543>



- Lagkueva I.D., Chernichenko N.V., Kotlyarov P.M. et al. Diagnosis and differential diagnosis of focal lung formations. *Pulmonology*. 2024; 34 (4): 533–543. <http://doi.org/10.18093/0869-0189-2024-34-4-533-543> (In Russian)
11. Haga A., Takahashi W., Aoki S. et al. Classification of early stage non-small cell lung cancers on computed tomographic images into histological types using radiomic features: interobserver delineation variability analysis. *Radiol. Phys. Technol.* 2018; 11: 27–35. <https://doi.org/10.1007/s12194-017-0433-2>
 12. Yan M., Wang W. A non-invasive method to diagnose lung adenocarcinoma [published correction appears in *Front. Oncol.* 2020; 10: 1515. <http://doi.org/10.3389/fonc.2020.01515>]. *Front. Oncol.* 2020; 10: 602. <http://doi.org/10.3389/fonc.2020.00602>
 13. Chen B.T., Chen Z., Ye N. et al. Differentiating Peripherally-Located Small Cell Lung Cancer From Non-small Cell Lung Cancer Using a CT Radiomic Approach. *Front. Oncol.* 2020; 10: 593. <http://doi.org/10.3389/fonc.2020.00593>
 14. Wang J., Zhong F., Xiao F. et al. CT radiomics model combined with clinical and radiographic features for discriminating peripheral small cell lung cancer from peripheral lung adenocarcinoma. *Front. Oncol.* 2023; 13: 1157891. <http://doi.org/10.3389/fonc.2023.1157891>
 15. Linning E., Lin L., Li L. et al. Radiomics for Classifying Histological Subtypes of Lung Cancer Based on Multiphasic Contrast-Enhanced Computed Tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2019; 43 (2): 300–306. <http://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000836>
 16. Li H., Gao L., Ma H. et al. Radiomics-Based Features for Prediction of Histological Subtypes in Central Lung Cancer. *Front. Oncol.* 2021; 11: 658887. <http://doi.org/10.3389/fonc.2021.658887>
 17. Qi J., Deng Z., Sun G. et al. One-step algorithm for fast-track localization and multi-category classification of histological subtypes in lung cancer. *Eur. J. Radiol.* 2022; 154: 110443. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110443>
 18. Shah R.P., Selby H.M., Mukherjee P. et al. Machine Learning Radiomics Model for Early Identification of Small-Cell Lung Cancer on Computed Tomography Scans. *JCO Clin. Cancer. Inform.* 2021; 5: 746–757. <http://doi.org/10.1200/CCI.21.00021>
 19. Liang B., Tong C., Nong J., Zhang Y. Histological subtype classification of non-small cell lung cancer with radiomics and 3D convolutional neural networks. *J. Imaging Inform. Med.* 2024. <http://doi.org/10.1007/s10278-024-01152-4>
 20. Chen Z., Yi L., Peng Z. et al. Development and validation of a radiomic nomogram based on pretherapy dual-energy CT for distinguishing adenocarcinoma from squamous cell carcinoma of the lung. *Front. Oncol.* 2022; 12: 949111. <http://doi.org/10.3389/fonc.2022.949111>
 21. Zhu X., Dong D., Chen Z. et al. Radiomic signature as a diagnostic factor for histologic subtype classification of non-small cell lung cancer. *Eur. Radiol.* 2018; 28 (7): 2772–2778. <http://doi.org/10.1007/s00330-017-5221-1>
 22. Kuang B., Zhang J., Zhang M. et al. Advancing NSCLC pathological subtype prediction with interpretable machine learning: a comprehensive radiomics-based approach. *Front. Med. (Lausanne)*. 2024; 11: 1413990. <http://doi.org/10.3389/fmed.2024.1413990>
 23. Patil R., Mahadevaiah G., Dekker A. An approach toward automatic classification of tumor histopathology of non-small cell lung cancer based on radiomic features. *Tomography*. 2016; 2 (4): 374–377. <http://doi.org/10.18383/j.tom.2016.00244>
 24. Liu J., Cui J., Liu F. et al. Multi-subtype classification model for non-small cell lung cancer based on radiomics: SLS model. *Med Phys.* 2019; 46 (7): 3091–3100. <http://doi.org/10.1002/mp.13551>

Для корреспонденции*: Карелидзе Давид Георгиевич – e-mail: david_ka@mail.ru

Солодкий Владимир Алексеевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; заместитель директора по научной работе, профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: mailbox@rnccr.rssi.ru

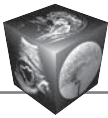
Карелидзе Давид Георгиевич – клинический ординатор по специальности “рентгенология” ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0002-0375-1291>

Борисов Александр Александрович – младший научный сотрудник ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4036-5883>

Султанова Пери Назимовна – клинический ординатор по специальности “рентгенология” ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России”, Москва. <https://orcid.org/0009-0009-3006-8210>

Иванников Михаил Евгеньевич – врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница имени А.К. Ерамишанцева ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0007-0407-0953>

Шахвалиева Элина Саид-Аминовна – врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Детская городская клиническая больница № 9 им. Г.Н. Сперанского ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0000-7535-8523>



Contact*: David G. Karelidze – e-mail: david_ka@mail.ru

Vladimir A. Solodkiy – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>.

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of the Research Department for Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation;

Professor, Department of Roentgenoradiology and Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Oncology and Radiology, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: mail-box@mccrr.rssi.ru

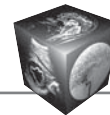
David G. Karelidze – clinical resident in the specialty "Radiology" of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0002-0375-1291>

Aleksandr A. Borisov – Junior researcher at the Scientific and Practical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4036-5883>

Peri N. Sultanova – clinical resident in the specialty "Radiology" of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-3006-8210>

Mikhail E. Ivannikov – radiologist at the A.K. Yeramishantsev City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0009-0007-0407-0953>

Elina S.-A. Shakhvalieva – radiologist at the G.N. Speransky Children's City Clinical Hospital No. 9 of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0009-0000-7535-8523>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1489>

Возможности ультразвукового исследования толстой кишки в определении тяжелого течения и прогноза рецидивов энтероколита, вызванного *Clostridioides difficile*

© Пиманов С.И.^{1*}, Руцкая И.А.²

¹ УО “Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет”; 210009 Витебск, проспект Фрунзе, д. 27, Беларусь

² УЗ “Витебская областная клиническая инфекционная больница”; 210009 Витебск, проспект Фрунзе, д. 73, Беларусь

Цель исследования: определить ультразвуковые признаки тяжелого течения и критерии прогнозирования рецидива энтероколита, вызванного *Clostridioides difficile* (*Cl. difficile*), а также возможности разграничения клинически незначимой антибиотик-ассоциированной диареи от ее варианта с клостридиальной инфекцией. Поставленная цель предполагала изучение пациентов с COVID-19 и без такового.

Материал и методы. Сплошная случайная выборка состояла из 253 больных с антибиотик-ассоциированной диареей. Использовались стандартные, рекомендованные международными и российскими соглашениями методы ультразвукового исследования (УЗИ) кишечной стенки, а также диагностики инфекции SARS-CoV-2 и *Cl. difficile*.

Результаты. Установлено, что при антибиотик-ассоциированной диарее распространенное утолщение кишечной стенки величиной более 3,2 мм по данным УЗИ наблюдается при энтероколите, вызванном *Cl. difficile*. При диарее у пациентов с COVID-19 обнаружение кишечной стенки толщиной более 4,0 мм указывает на наличие псевдомембранозного колита при исключении патологии кишечника ишемического генеза. Тяжелое течение клостридиального энтероколита при эхографии характеризуется распространенным увеличением толщины толстокишечной стенки с максимальным значением более 7,2 мм. Кроме того, возможны дополнительные ультразвуковые признаки тяжелого течения энтероколита, вызванного *Cl. difficile*: наличие паракольной свободной жидкости и/или асцитической жидкости в различных областях брюшной полости; повышение эхогенности прилегающей к воспаленной кишке жировой ткани (сальника) и “увеличение” ее объема; нарушение стратификации стенки толстой кишки; утолщение стенки тонкой кишки более 3,0 мм; парез толстой кишки; токсический мегаколон. Сохранение у пациентов с энтероколитом, вызванным *Cl. difficile*, утолщения кишечной стенки более 6,0 мм по результатам УЗИ после проведения стандартного курса лечения с достижением клинического целевого результата (отсутствие диареи, нормализация температуры тела и лабораторных показателей) является предиктором рецидива заболевания. При сочетании энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, с COVID-19 можно использовать вышеописанные ультразвуковые диагностические критерии псевдомембранозного колита при установлении его тяжелого течения и высокой вероятности рецидива.

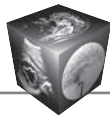
Заключение. Использование УЗИ кишечной стенки и окружающих структур позволяет детализировать диагностику энтероколита, вызванного *Cl. difficile*.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика; *Clostridioides difficile*; псевдомембранозный колит; антибиотик-ассоциированная диарея; рецидив; ободочная кишка; COVID-19

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Пиманов С.И., Руцкая И.А. Возможности ультразвукового исследования толстой кишки в определении тяжелого течения и прогноза рецидивов энтероколита, вызванного *Clostridioides difficile*. Медицинская визуализация. 2025; 29 (2): 39–50. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1489>

Поступила в редакцию: 04.07.2024. Принята к печати: 15.09.2024. Опубликовано online: 17.01.2025.



Possibilities of colon ultrasound in determining the severe course and prognosis of recurrent *Clostridioides difficile* colitis

© Sergey I. Pimanov^{1*}, Iryna A. Rutskaya²

¹ Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University; 27, Frunze Avenue, Vitebsk 210009, Belarus

² Vitebsk Regional Clinical Infectious Diseases Hospital; 73, Frunze Avenue, Vitebsk 210009, Belarus

Purpose of the study: to determine ultrasound signs of severe course and prognostic criteria for recurrence of *Clostridioides difficile* (*Cl. difficile*) colitis and the possibility of separating clinically negligible antibiotic-associated diarrhea from its case related with Clostridial infection. In order to fulfill the aim the study involved patients with and without COVID-19.

Material and methods. A continuous random sample consisted of 253 patients with antibiotic-associated diarrhea. We used standard, recommended by international and Russian agreements methods of the intestinal wall ultrasound examination and diagnostics of SARS-CoV-2 and *Cl. difficile* infection.

Results. It was found that in antibiotic-associated diarrhea widespread intestinal wall thickening greater than 3.2 mm by ultrasonography is observed in *Cl. difficile* colitis. In case of diarrhea in patients with COVID-19, the detection of intestinal wall thickness of more than 4.0 mm indicates the presence of pseudomembranous colitis when intestinal pathology of ischemic genesis is excluded. Severe course of Clostridial colitis is characterized by widespread increase in the colonic wall thickness with a maximum value of more than 7.2 mm at echography. Furthermore, there may be additional ultrasound signs of severe course of *Cl. difficile* colitis: the presence of paracolic free fluid and/or ascitic fluid in various regions of the abdominal cavity; increased echogenicity of adipose tissue adjacent to the inflamed intestine (omentum) and "increase" in its volume; impaired stratification of the colonic wall; thickening of the small intestine wall more than 3.0 mm; paresis of the colon; toxic megacolon. When thickening of the intestinal wall detected by ultrasound in patients with *Cl. difficile* colitis is more than 6.0 mm after the standard course of treatment with the achievement of clinical target results (absence of diarrhea, normalization of temperature and laboratory parameters) it is a predictor of recurrence of the disease. The described ultrasound diagnostic criteria for pseudomembranous colitis can be used for establishing its severe course and high probability of recurrence in the case of the combination of *Cl. difficile* colitis with COVID-19.

Conclusion. The use of ultrasound examination of the intestinal wall and surrounding structures allows to detail the diagnosis of *Cl. difficile* colitis

Keywords: ultrasound; *Clostridioides difficile*; pseudomembranous colitis; antibiotic-associated diarrhea; recurrence; colon; COVID-19

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Pimanov S.I., Rutskaya I.A. Possibilities of colon ultrasound in determining the severe course and prognosis of recurrent *Clostridioides difficile* colitis. *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 39–50. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1489>

Received: 04.07.2024.

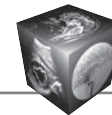
Accepted for publication: 15.09.2024.

Published online: 17.01.2025.

Введение

Прогресс визуализационных методов диагностики с использованием не только описательного, но и аналитического подхода позволяет раскрыть нюансы клинических ситуаций, что в конечном итоге влияет на парадигму ведения пациентов [1–3]. Одной из клинических проблем, связанных с неинвазивной диагностикой заболеваний кишечника, является антибиотик-ассоциированная диарея (ААД). Среди ААД в стационарах наиболее опасным вариантом с возможным летальным исходом является энтероколит, вызываемый микроорганизмом *Clostridioides difficile* (*Cl. difficile*) [4, 5]. Эта инфекция, заболеваемость которой неуклонно растёт во всем мире, считается наиболее частой

из внутрибольничных в Европе [4, 6, 7]. Пандемия COVID-19 существенно увеличила заболеваемость энтероколитом, вызванным *Cl. difficile* [8, 9]. Хотя диагностика клостридиального энтероколита, который иногда называют псевдомембранозным колитом (ПМК), осуществляется клиническими, лабораторными, эндоскопическими и морфологическими методами, при компьютерной томографии (КТ) и ультразвуковом исследовании (УЗИ) изменения кишечной стенки были обнаружены около 40 лет назад [6, 10–12]. В последние годы наблюдается резкий рост интереса к трансабдоминальной ультразвуковой диагностике (УЗД) заболеваний кишечника, или интестинальной эхографии [13, 14]. Российские и зарубежные иссле-



дователи достаточно детально описали ультразвуковую симптоматику ПМК, причем отметили большую важность проблемы в хирургической практике [15–18].

Разработанные на сегодняшний день варианты терапии и дозировки лекарственных средств при энтероколите, вызванном *Cl. difficile*, строго дифференцированы в зависимости от степени тяжести этого заболевания [4, 5]. Тяжесть клостридиальной инфекции (КДИ) определяется преимущественно по клинико-лабораторным критериям, однако нередко случаи ошибочной гиподиагностики тяжелого течения энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, что приводит к недостаточно эффективной терапии и прогрессированию поражения кишечника [19]. В такой ситуации применение доступного объективного неинвазивного метода исследования кишечника, каким является интестинальная эхография, могло бы решить проблему. Однако критерии УЗД тяжелого течения ПМК не разработаны.

Еще одной проблемой лечения пациентов с КДИ является высокий уровень рецидивов заболевания, который составляет 15–30% после проведения стандартного курса этиотропной терапии с достижением клинического излечения первого эпизода инфекции. Увеличение длительности терапии и изменение выбора антибиотика может предотвратить рецидив, однако его прогнозирование пока недоступно в клинической практике [20, 21].

Опыт последних лет показал, что решение перечисленных проблем диагностики энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, должно решаться с учетом возможности развития этого заболевания при COVID-19, так как при сочетании ПМК и COVID-19 наблюдается высокая летальность – 11,36% [19, 22]. Вместе с тем сравнительных исследований особенностей УЗД при ПМК, протекающем при коронавирусной инфекции и без таковой, не проводилось.

Цель исследования: определить ультразвуковые признаки тяжелого течения и критерии прогнозирования рецидива энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, а также возможности разграничения клинически незначимой антибиотик-ассоциированной диареи от ее варианта с КДИ. Поставленная цель предполагала изучение пациентов с COVID-19 и без такового.

Материал и методы

Дизайн и характеристика пациентов

Исследование проводилось на базе УЗ “Витебская областная клиническая больница” и “Витебская областная клиническая инфекционная больница”. Дизайн работы соответствовал поперечному вари-

анту в части разграничения пациентов с ААД (группы 1, 2; 1-COVID, 2-COVID), а также в диагностике тяжелого течения КДИ (группы 2NS, 2S; 2NS-COVID, 2S-COVID). Для разработки ультразвукового критерия прогнозирования рецидива энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, проведено проспективное исследование (группы 2NR, 2R; 2NR-COVID, 2R-COVID). Степень тяжести КДИ определяли согласно рекомендациям Российской гастроэнтерологической ассоциации [5]. Возникновение ПМК после приема антибиотиков у пациента на фоне острой инфекции SARS-CoV-2 расценивали как “сочетание COVID-19 и энтероколита, вызванного *Cl. difficile*”. Рецидивом считали повторное возникновение КДИ в течение 8 нед после окончания этиотропного лечения [5, 17]. Исходная сплошная случайная выборка с учетом критериев включения и исключения состояла из 253 больных с ААД (170 женщин, 83 мужчины, возраст 19–100 лет, средний возраст $64,62 \pm 16,91$ года). Структура выделенных групп отражена на рис. 1.

В 1-ю группу вошло 42 пациента с ААД при отрицательных лабораторных тестах на инфекцию *Cl. difficile*; во 2-ю группу – 75 пациентов с ААД и верифицированной КДИ. Группа 1-COVID состояла из 50 пациентов с ААД на фоне COVID-19; группа 2-COVID – из 86 пациентов с ААД и верифицированным энтероколитом, вызванным *Cl. difficile*, на фоне COVID-19.

В группу 2NS (NS – non-severe, т.е. нетяжелый) включено 52 пациента с энтероколитом, вызванным *Cl. difficile*, нетяжелого (легкой и средней тяжести) течения согласно клинико-лабораторным данным; в группу 2S (S – severe, т.е. тяжелый) – 23 пациента с КДИ тяжелой степени; в группу 2NS-COVID – 55 пациентов с энтероколитом, вызванным *Cl. difficile*, нетяжелого (легкой и средней тяжести) течения на фоне COVID-19; в группу 2S-COVID – 31 пациент с КДИ тяжелой степени на фоне COVID-19.

Группа 2NR (NR – no recurrence, т.е. без рецидива) состояла из 32 пациентов без рецидива клостридиального энтероколита; группа 2R (R – recurrence, т.е. с рецидивом) – из 12 больных, у которых развился рецидив энтероколита; группа 2NR-COVID включала 21 человека, у которого при сочетании COVID-19 и текущего эпизода КДИ рецидив энтероколита в анамнезе отсутствовал; группа 2R-COVID – 13 пациентов, у которых при сочетании COVID-19 и текущего эпизода КДИ возник рецидив энтероколита. Выяснить анамнез не удалось у 18 человек ввиду их смерти по различным причинам в исследуемый период, а также у 7 обследуемых, связь с которыми установить не удалось. Эти пациенты были исключены из иссле-

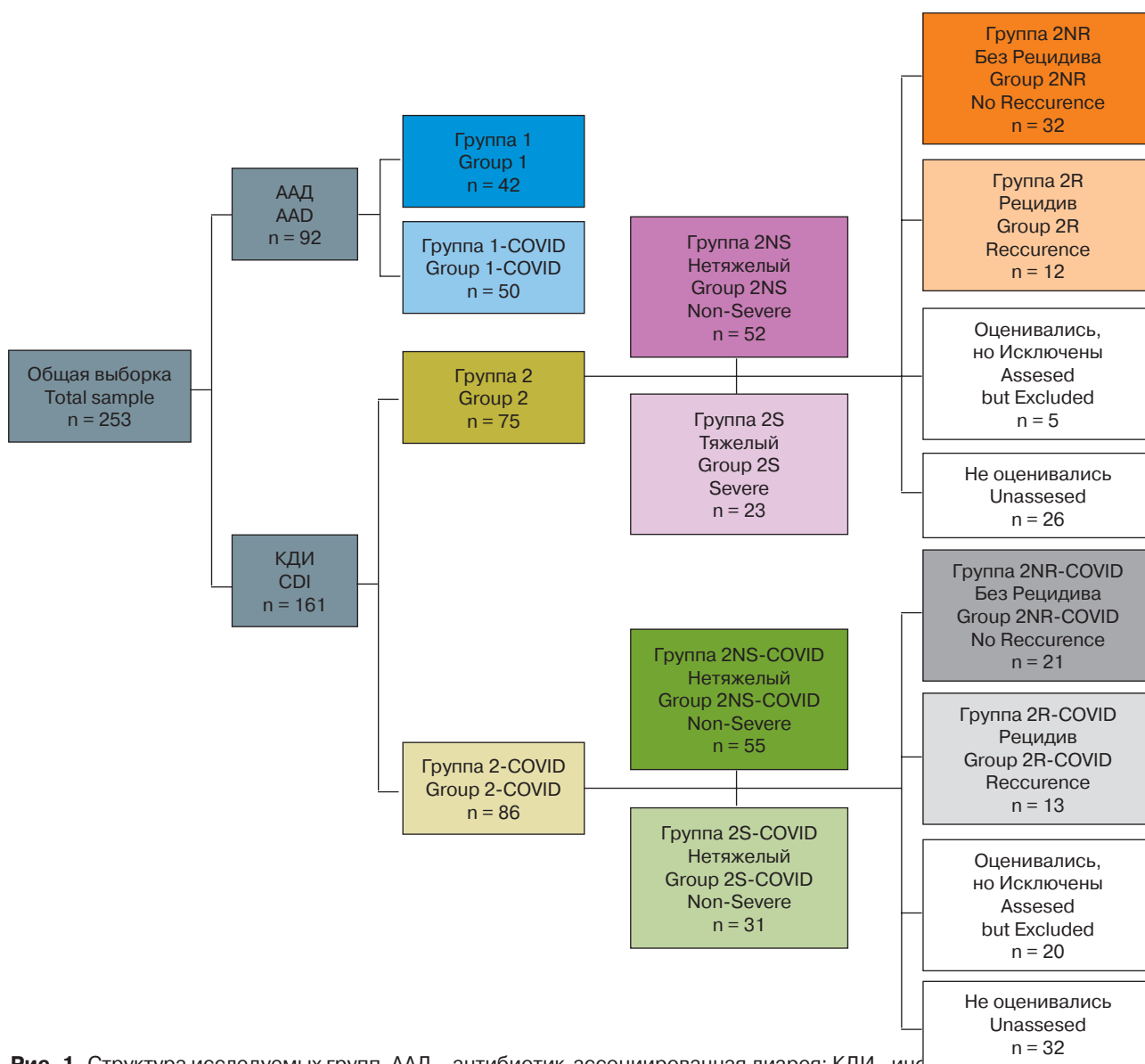


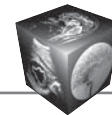
Рис. 1. Структура исследуемых групп. ААД – антибиотик-ассоциированная диарея; КДИ – инфекция *C. difficile*; группа 2NS – подгруппа 2-й группы с нетяжелым течением КДИ; группа 2S – подгруппа 2-й группы с тяжелым течением КДИ; группа 2NR – подгруппа 2-й группы без рецидива КДИ; группа 2R – подгруппа 2-й группы с рецидивом КДИ. Индекс “COVID” в названии группы указывает на наличие COVID-19 у пациентов данной группы.

Fig. 1. Structure of the study groups. AAD – antibiotic-associated diarrhea, CDI – *C. difficile* infection; group 2NS – subgroup of group 2 with non-severe CDI; group 2S – subgroup of group 2 with severe CDI; group 2NR – subgroup of group 2 without recurrence of CDI; group 2R – subgroup of group 2 with recurrence of CDI. The index “COVID” in the group name indicates the presence of COVID-19 in patients in this group.

дования. Таким образом, катамнез был прослежен у 78 больных, хотя первоначально в описанные группы изучения рецидивов было включено 103 человека. У 58 пациентов с КДИ УЗИ на этапе окончания этиотропной терапии не проводилось.

Все группы, между которыми в дальнейшем проводились парные сравнения по различным исследуемым показателям, статистически значимо не различались по полу и возрасту.

Критерии включения: возраст 18 лет и старше, острая диарея (стул более 3 раз в сутки, тип 6 или 7 по Бристольской шкале формы кала), сохраненная проходимость магистральных мезентериальных сосудов по данным УЗИ, а также для всех групп, кроме 1 и 1-COVID, – наличие КДИ по характерной клинической картине и положительному иммунохроматографическому тесту (ИХТ). Критерии исключения: наличие хронических воспали-



тельных или опухолевых заболеваний кишечника, мезентериального тромбоза и прочих состояний, которые могли бы существенно повлиять на эхографическую картину толстой кишки [13, 14], положительный результат посевов кала или ИХТ на патогенные энтеробактерии, ротавирус, норовирус и энтеровирусы.

Лабораторные методы

Верификация диагноза COVID-19 проводилась с использованием наборов “ALSENSE-SARS-CoV-2-RT-qPCR” производства Альгимед Трейд (Республика Беларусь), “SARS-COV-2 ANTIGEN RAPID TEST” производства ACON Biotech (Hangzhou) Co., Ltd. (KHP), “Panbio COVID-19 Ag Rapid Test Device” производства Abbott Rapid Diagnostics (Германия).

Инфекцию *Cl. difficile* выявляли с помощью ИХТ с определением в кале больных токсинов А и В наборами производства ООО “МультиЛаб” (Республика Беларусь), а также “BioMaxima S.A.” (Польша).

Ультразвуковое исследование

УЗИ выполняли на аппаратах Logiq E9 (фирма GE Healthcare, США) и Mindray M7 (фирма Shenzhen Mindray BioMedical Electronics Co., Ltd, KHP) с конвексными 3,5–4,0 МГц и линейным 10,0 МГц датчиками без специальной подготовки пациентов к исследованию.

Анализировались следующие ультразвуковые параметры: толщина толстокишечной стенки; наличие паракольной и/или свободной асцитической жидкости в различных областях брюшной полости; повышение эхогенности прилегающей к воспаленной кишке жировой ткани и “увеличение” ее объема; нарушение стратификации стенки толстой кишки; утолщение стенки тонкой кишки более 3,0 мм; парез толстой кишки; токсический мегаколон.

Измерение толщины кишечной стенки осуществлялось в продольном сечении в соответствии с рекомендациями Европейской федерации обществ ультразвука в медицине и биологии (European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology – EFSUMB) с учетом наличия у органов желудочно-кишечного тракта пятислойного строения стенки, включающего следующие структуры со стороны полости кишки: 1) гиперэхогенный слой, соответствующий границе жидкость–стенка кишки и поверхность слизистой оболочки; 2) гипозэхогенный слой – слизистая оболочка; 3) гиперэхогенный подслизистый слой; 4) гипозэхогенная мышечная оболочка, 5) гиперэхогенная серозная оболочка [13, 14, 18]. Для определения толщины стенки кишки маркеры распо-

лагались между поверхностным эхогенным (со стороны просвета кишки) и серозным слоями. В каждом из отделов ободочной кишки (слепой, восходящей, поперечной, нисходящей, сигмовидной) толщина стенки измерялась 2–4 раза. Фиксация эхограммы осуществлялась при наилучшей визуализации стенки кишки и всех ее слоев, включая просвет кишки и часть регионарной паракольной клетчатки. Датчик при измерении толщины стенки кишки располагался перпендикулярно ее поверхности. В соответствии с рекомендациями EFSUMB нормальной толщиной кишечной стенки считали ее значение до 2 мм, патологической – 3 мм и более [13, 18].

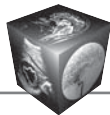
Потеря стратификации кишечной стенки фиксировалась при отсутствии четкого разделения ее на вышеуказанные слои за счет ухудшения или отсутствия визуализации подслизистого слоя.

Парезом толстой кишки считали отсутствие поступательного движения внутрикишечного содержимого. Показателем токсического мегаколона считали диаметр толстой кишки более 60 мм [14, 18].

В группах 2NR, 2R, 2NR-COVID и 2R-COVID, кроме исходного УЗИ, проводилось измерение параметров стенки толстой кишки на 8–10-й день от начала курса этиотропной терапии энтероколита, вызванного *Cl. difficile*.

Статистический анализ

В связи с распределением количественных показателей, отличным от нормального, использовались методы непараметрической статистики (U-критерий Манна–Уитни для независимых выборок). Данные представлялись в виде среднего значения и медианы с межквартильным размахом, а также с указанием минимального и максимального значений выборки. Сравнение категориальных параметров проводилось с использованием критерия χ^2 для бинарных переменных. Граничные значения (cut-off) показателей толщины стенки толстой кишки как критериев тяжелого течения КДИ, ее рецидива определялись с помощью общепринятого receiver operating characteristic-анализа (ROC-анализа) с оценкой чувствительности (Ч), специфичности (С), предсказательной ценности положительного результата (ПЦПР), предсказательной ценности отрицательного результата (ПЦОР). Определение оптимальной комбинации ультразвуковых маркеров, свидетельствующих о наличии тяжелого течения энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, а также изучение прогнозирования рецидива КДИ осуществлялось методом бинарной логистической регрессии [23]. Качество модели оценивалось по площади под



ROC-кривой (ППК) и 95% доверительного интервала (ДИ), учитывая малый размер выборок, проводилась внутренняя валидация с использованием методики бутстреп. Статистическая обработка полученных данных выполнялась на персональном компьютере с применением стандартного пакета программ Statistica 10,0 StatSoft Inc., Okla., Microsoft Office Excel 2019, MedCalc Statistical Software 18.9.1 и IBM SPSS Statistics 26.0.0.1. При всех расчетах результаты считались значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Толщина стенки толстой кишки по ультразвуковым данным достоверно отличалась при парном сравнении в следующих группах пациентов: 1 и 2; 1-COVID и 2-COVID; 1 и 1-COVID; 2NS и 2S; 2NS-COVID и 2S-COVID; 2NR и 2R; 2NR-COVID и 2R-COVID ($p < 0,001$); достоверных отличий тол-

щины кишечной стенки не выявлено у пациентов нижеуказанных групп: 2 и 2-COVID ($p = 0,3410$); 2NS и 2NS-COVID ($p = 0,0929$); 2S и 2S-COVID ($p = 0,6430$); 2NR и 2NR-COVID ($p = 0,2913$); 2R и 2R-COVID ($p = 0,2534$) (рис. 2). Поражение толстой кишки при ПМК было распространенным, т.е. захватывало больше двух отделов.

Таким образом, при ААД с КДИ толщина стенки кишки была больше, чем при отсутствии *Cl. difficile* (рис. 3).

При тяжелом ПМК (рис. 4а) толщина кишечной стенки статистически значимо превышала аналогичные значения у пациентов с легким и среднетяжелым течением заболевания (рис. 4б).

В группе больных рецидивирующим энтероколитом, вызванным *Cl. difficile*, толщина стенки толстой кишки после окончания стандартного этиотропного лечения была больше, чем в группе пациентов без рецидива этой инфекции (рис. 5).

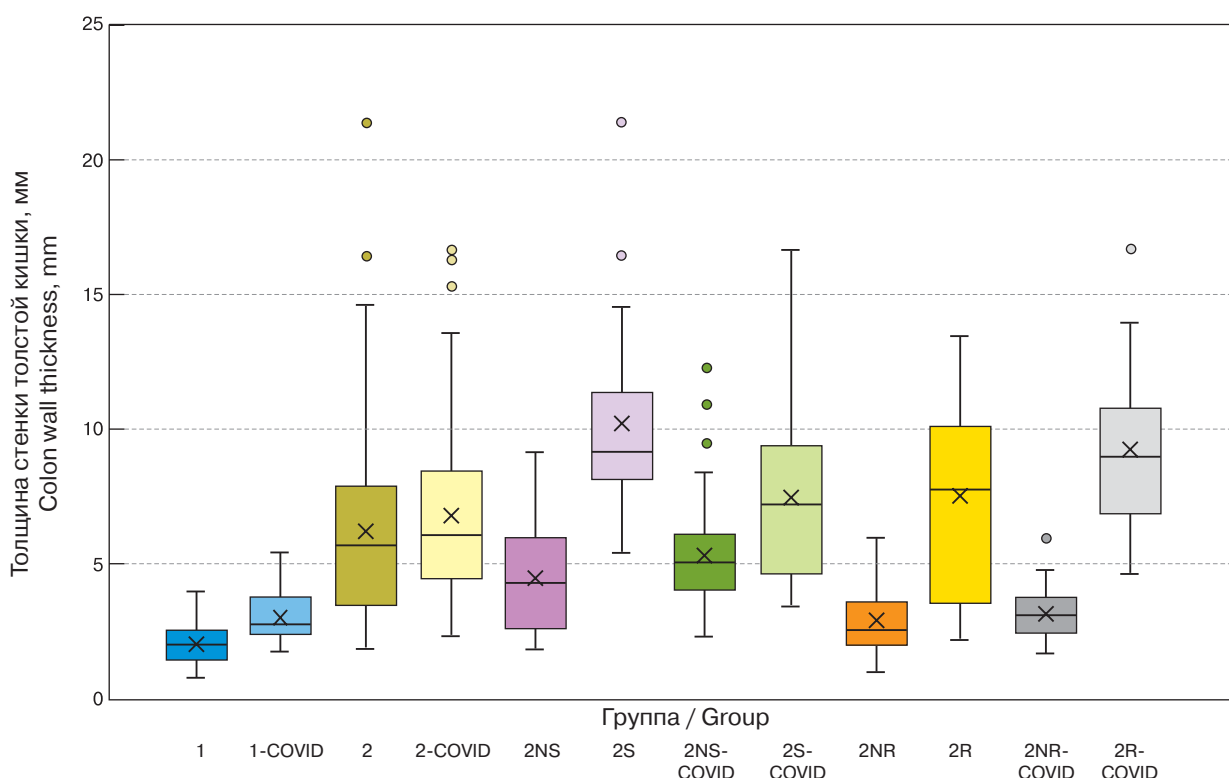


Рис. 2. Диаграмма толщины стенки толстой кишки пациентов при попарном сравнении исследуемых групп. 1 и 2; 1-COVID и 2-COVID; 1 и 1-COVID; 2NS и 2S; 2NS-COVID и 2S-COVID; 2NR и 2R; 2NR-COVID и 2R-COVID ($p < 0,001$); 2 и 2-COVID ($p = 0,3410$); 2NS и 2NS-COVID ($p = 0,0929$); 2S и 2S-COVID ($p = 0,6430$); 2NR и 2NR-COVID ($p = 0,2913$); 2R и 2R-COVID ($p = 0,2534$).

Примечание. Наименования и цветовое обозначение групп соответствуют рис. 1.

Fig. 2. Diagram of patients' colon wall thickness in pairwise comparison of the study groups: 1 vs 2; 1-COVID vs 2-COVID; 1 vs 1-COVID; 2NS vs 2S; 2NS-COVID vs 2S-COVID; 2NR vs 2R; 2NR-COVID vs 2R-COVID ($p < 0.001$); 2 vs 2-COVID ($p = 0.3410$); 2NS vs 2NS-COVID ($p = 0.0929$); 2S vs 2S-COVID ($p = 0.6430$); 2NR vs 2NR-COVID ($p = 0.2913$); 2R vs 2R-COVID ($p = 0.2534$).

Note. The names and color coding of the groups correspond to Fig. 1.

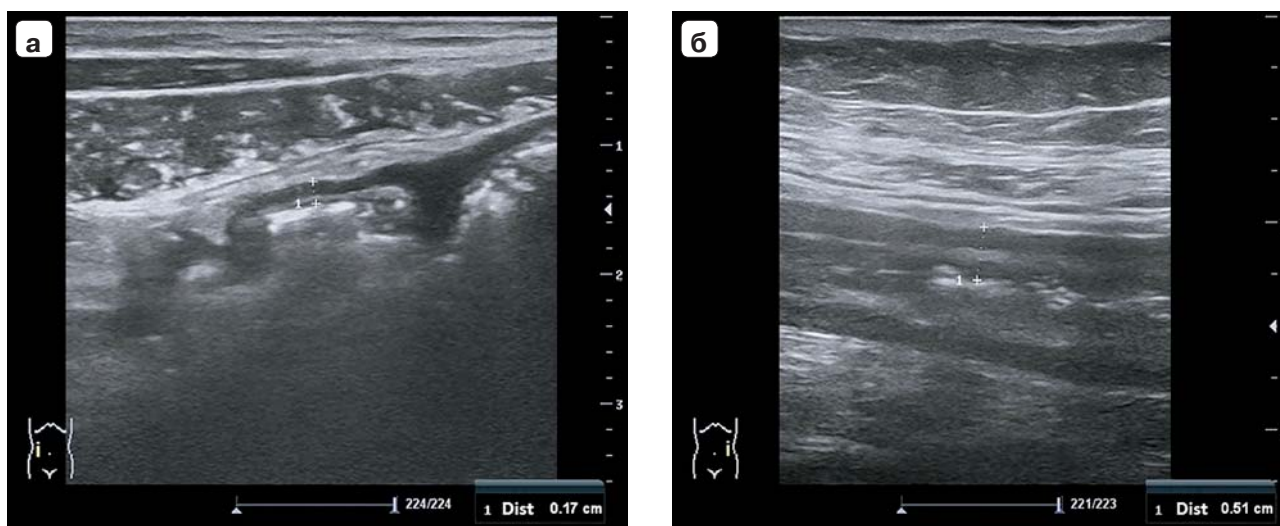
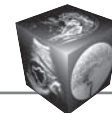


Рис. 3. Сравнение толщины стенки толстой кишки пациентов с ААД в зависимости от наличия КДИ. **а** – пациент К., 66 лет, 3-й день заболевания, стул до 5 раз в сутки после приема азитромицина, токсины *Cl. difficile* в кале не обнаружены, толщина стенки толстой кишки 1,7 мм; **б** – пациент Б., 63 года, 4-й день заболевания, стул до 3 раз в сутки после приема азитромицина, толщина стенки толстой кишки 5,1 мм; в кале обнаружены токсины А и В *Cl. difficile*.

Fig. 3. Comparison of colonic wall thickness of AAD patients depending on the presence of CDI. **a** – patient K., 66 years old, 3th day of the disease, stools up to 5 times a day after taking azithromycin, the thickness of the colon wall is 1.7 mm; no *Cl. difficile* toxins detected in the feces; **б** – patient B., 63 years old, 4th day of the disease, stools up to 3 times a day after taking azithromycin, the thickness of the colon wall is 5.1 mm; *Cl. difficile* toxins A and B detected in the feces.

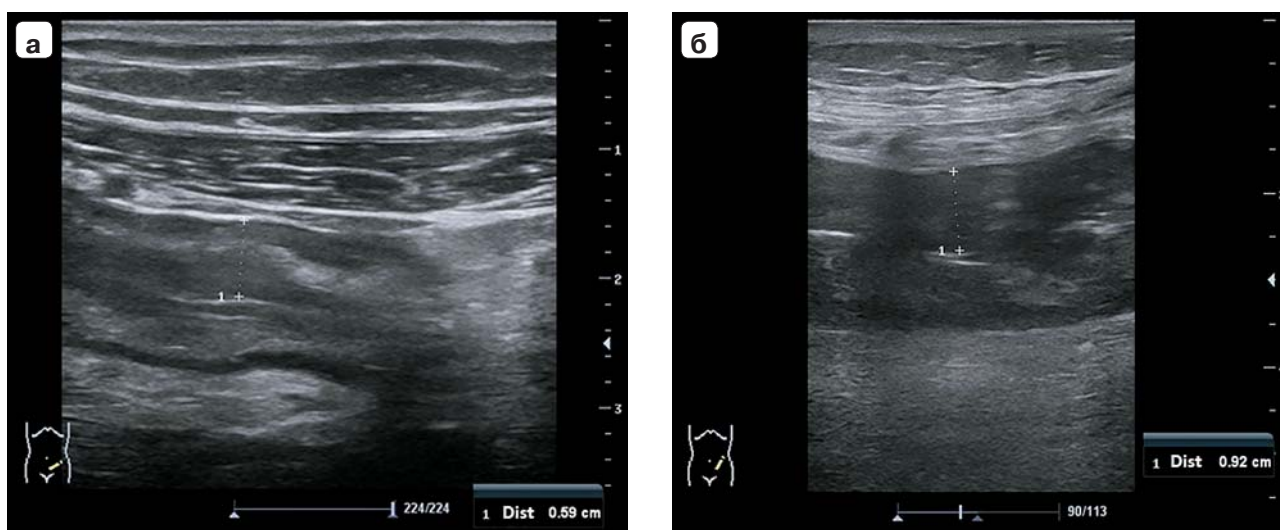


Рис. 4. Сравнение толщины стенки толстой кишки пациентов с КДИ различной степени тяжести. **а** – пациентка М., 78 лет, 5-й день заболевания, среднетяжелое течение КДИ, толщина стенки толстой кишки 5,9 мм; **б** – пациентка А., 77 лет, 4-й день заболевания, тяжелое течение КДИ, толщина стенки толстой кишки 9,2 мм.

Fig. 4. Comparison of colon wall thickness in patients with different CDI severity. **a** – patient M., 78 years old, 5th day of the disease, moderate CDI, the thickness of the colon wall is 5.9 mm; **б** – patient A. 77 years old, 4th day of the disease, severe CDI, the thickness of the colon wall is 9.2 mm.

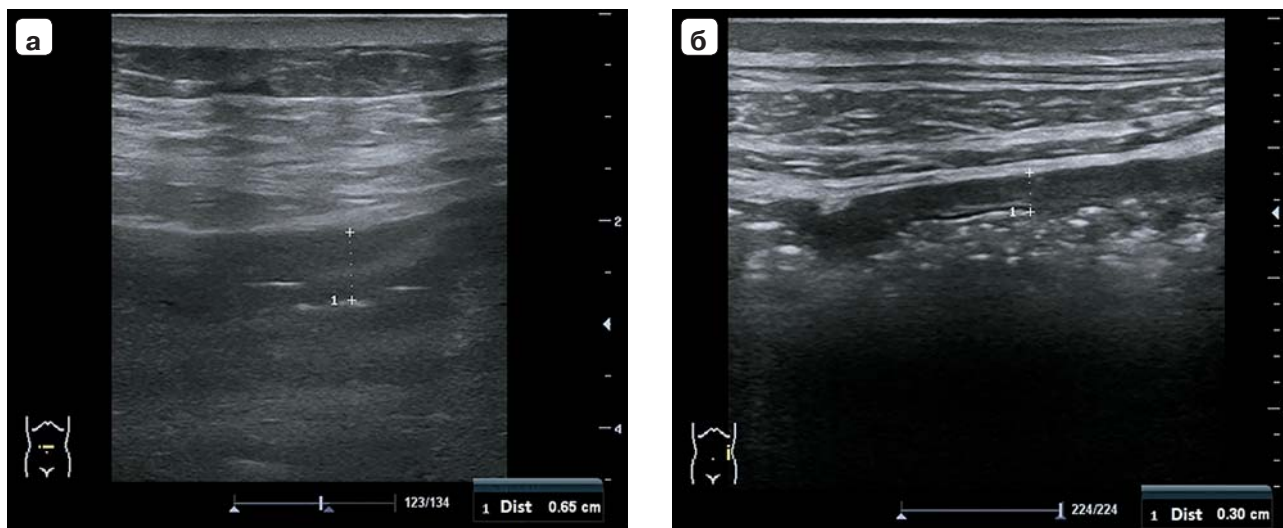
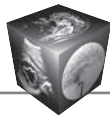


Рис. 5. Сравнение толщины стенки толстой кишки пациентов с КДИ в конце курса этиотропной терапии при развитии рецидива заболевания в дальнейшем и без такового. **а** – пациентка С., 72 года, 10-й день заболевания, толщина стенки толстой кишки 6,5 мм, рецидив заболевания возник через 12 дней после окончания курса терапии; **б** – пациентка Б., 76 лет, 9-й день заболевания, толщина стенки толстой кишки 3,0 мм, отсутствие рецидива в течение периода наблюдения.

Fig. 5. Comparison of colon wall thickness in patients with CDI at the end of the etiotropic therapy course in case of further disease recurrence and without it. **a** – patient S., 72 years old, 10th day of the disease, the thickness of the colon wall is 6.5 mm, disease recurrence appeared 12 days after the end of the therapy course; **b** – patient B., 76 years old, 9th day of the disease, the thickness of the colon wall is 3.0 mm, no recurrence during the observation period.

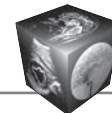
Все перечисленные закономерности сохранялись при наличии COVID-19 в группах больных энтероколитом, вызванным *Cl. difficile*. Только среди пациентов с ААД без КДИ стенка кишки при COVID-19 была статистически значимо больше, чем при отсутствии коронавирусной инфекции. Тенденция к увеличению толщины стенки во всех остальных группах при COVID-19 в сравнении с аналогичными значениями у пациентов без этой инфекции имела место, но различия были статистически незначимыми.

Оптимальным пограничным значением (cut-off) толщины стенки ободочной кишки, характеризующим наличие КДИ у пациентов с ААД, явился показатель “более 3,2 мм” (Ч – 79,5%, С – 92,9%, ПЦПР – 95,1%, ПЦОР – 72,2%, ППК = 0,919, ДИ 0,854–0,962, $p < 0,0001$) в любом из ее отделов при тотальном поражении ободочной кишки; на фоне COVID-19 – значение “более 4,0 мм” (Ч – 84,9%, С – 90,0%, ПЦПР – 93,6%, ПЦОР – 77,6%, ППК = 0,927, ДИ 0,869–0,964, $p < 0,0001$).

Для разграничения тяжелого и среднетяжелого/легкого течения энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, оптимальным был показатель “более 7,2 мм” в любом из ее отделов при тотальном поражении ободочной кишки (Ч – 91,3%, С – 98,1%, ПЦПР – 95,5%, ПЦОР – 96,2%, ППК = 0,974, ДИ 0,907–

0,997, $p < 0,0001$); на фоне COVID-19 – идентичное значение, т.е. “более 7,2 мм” (Ч – 90,3%, С – 92,8%, ПЦПР – 87,4%, ПЦОР – 94,4%, ППК = 0,944, ДИ 0,872–0,982, $p < 0,0001$). Показатель толщины кишечной стенки более 7,2 мм был расценен как основной в ультразвуковой дифференциальной диагностике тяжелого и среднетяжелого/легкого течения КДИ. Увеличение граничного значения толщины кишечной стенки до 7,4 мм позволило повысить специфичность диагностики тяжелого течения ПМК с 92,7 до 96,4%, однако при этом чувствительность снижалась с 90,3 до 83,9%.

В ходе исследования также сравнивалась частота выявления ультразвуковых качественных характеристик у пациентов групп 2S (2S-COVID), с одной стороны, и групп 2NS (2NS-COVID) – с другой соответственно. Установлено, что при тяжелом течении ПМК на фоне COVID-19 чаще встречаются следующие качественные признаки, которые расценены как дополнительные: 1) наличие паракольной свободной жидкости и/или асцитической жидкости в различных областях брюшной полости ($\chi^2 = 41,35$, $p < 0,001$); 2) повышение эхогенности прилегающей к воспаленной кишке жировой ткани и “увеличение” ее объема ($\chi^2 = 43,73$, $p < 0,001$); 3) нарушение стратификации стенки толстой кишки ($\chi^2 = 32,19$, $p < 0,001$); 4) утолщение



стенки тонкой кишки более 3,0 мм ($\chi^2 = 5,45$, $p = 0,0196$); 5) парез толстой кишки ($\chi^2 = 43,72$, $p < 0,001$); 6) токсический мегаколон.

Чувствительность диагностики тяжелого течения КДИ при комбинации показателя “толщина кишечной стенки более 7,2 мм” и хотя бы одного из вышеуказанных ультразвуковых качественных признаков достигает 95,7%, специфичность – 98,1% (ППК = 0,973, ДИ 0,906–0,997, $p < 0,0001$). На фоне COVID-19 чувствительность диагностики тяжелого течения КДИ при сочетании признаков “толщина кишечной стенки более 7,2 мм + дополнительные” составила 92,6% специфичность – 95,2%, (ППК = 0,964, ДИ 0,899–0,987, $p < 0,0001$).

Пограничным значением толщины стенки ободочной кишки, характеризующим развитие рецидива энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, в дальнейшем явился критерий “более 6,0 мм” (Ч – 75,0%, С – 100,00%, ПЦПР – 100,0%, ПЦОР – 91,4%, ППК = 0,842, ДИ 0,701–0,935, $p < 0,0001$); на фоне COVID-19 диагностические показатели имели следующий вид – “более 6,0 мм”: Ч – 92,3%, С – 100,00% ПЦПР – 100,0%, ПЦОР – 95,5%, ППК = 0,993, ДИ 0,884–1,000, $p < 0,0001$. При прогнозировании рецидива клостридиального энтероколита у пациентов с COVID-19 применение в качестве граничного значения величины 6,1 мм при сохранении специфичности диагностики 100,0% приводило к снижению чувствительности с 92,3 до 84,6%. Использование в этой же ситуации в качестве граничного значения прогноза рецидива энтероколита величины 4,8 мм вызывало снижение специфичности диагностики с 100,0 до 95,2%, однако чувствительность сохранялась на уровне 92,3%.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что у пациентов с энтероколитом, вызванным *Cl. difficile*, основной ультразвуковой характеристикой при оценке толстой кишки является толщина стенки. Если этот показатель при возникновении диареи на фоне или после приема антибиотиков превышает 3,2 мм, причем поражение распространяется на разные отделы ободочной кишки, существует высокая вероятность КДИ. Ситуация с наличием диареи в отсутствие утолщения стенки кишки объяснима, учитывая, что антибиотики значительно изменяют микробиом кишечника, однако необязательно, чтобы при этом в кишечной стенке происходили структурные изменения [24]. Также возможна некровавая инфекционная диарея без утолщения стенки кишки [25]. Кроме того, макролидный антибиотик эритромицин сам по себе действует как прокинетики, усиливающий кишечную



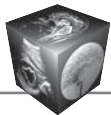
Рис. 6. Симптом “гармошки” у пациента А., 39 лет, с тяжелой формой КДИ, 7-й день заболевания.

Fig. 6. “Accordion” symptom in patient A., 39 years old, with severe CDI, 7th day of the disease.

перистальтику, так как способен связываться с мотилиновыми рецепторами [26].

В соответствии с полученными результатами в случае превышения показателем толщины кишечной стенки значения 7,2 мм можно диагностировать тяжелое течение ПМК с достаточно высокой чувствительностью и специфичностью. Вместе с тем следует учитывать, что распространенное утолщение кишечной стенки по данным интестинальной эхографии является неспецифическим симптомом и наблюдается при воспалительных заболеваниях кишечника, мезентериальном тромбозе, ишемическом колите, обтурационной непроходимости, а также амилоидозе и туберкулезе кишечника. Локальное утолщение стенки толстой кишки с поражением ее 1–2 отделов возможно при злокачественных опухолях, болезни Крона, эозинофильном колите, дивертикулите, тяжелых острых кишечных инфекциях, например сальмонеллезе [13, 18, 27, 28]. В случае ПМК при КТ и УЗИ наблюдается симптом “гармошки” (рис. 6), или, как его обычно называют в англоязычной литературе, симптом “аккордеона”, связанный с отеком складок ободочной кишки преимущественно за счет подслизистого слоя [29, 30]. Считалось, что этот симптом специфичен для энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, однако отдельные исследования такое предположение не подтвердили, причем чувствительность признака составила около 13–15% [31, 32]. Хотя высокая специфичность симптома “гармошки” отсутствует, следует учитывать, что складки достигают весьма значительной толщины преимущественно при ПМК [33].

Несмотря на то что основным признаком дифференциальной диагностики тяжелого и нетяже-



лого течения энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, является толщина кишечной стенки, учет дополнительных признаков улучшает диагностику и позволяет оценивать динамику заболевания. Нередко именно дополнительный признак (особенно асцит) позволяет направить мысль врача на вероятность тяжелого течения ПМК. Дополнительные признаки сами по себе могут нести важную информацию. В практической работе возможна ситуация при тяжелой КДИ, когда объективно состояние больного ухудшается, а частота стула уменьшается. Если при этом наблюдается парез толстой кишки, симптоматика становится объяснимой и подтверждает приближение катастрофы. Констатация токсического мегаколона имеет самостоятельное значение, так как определяет кардинальное изменение дальнейшей тактики ведения пациента.

Выявленное в нашем исследовании утолщение стенки кишки в конце курса этиотропного лечения с последующим развитием рецидива заболевания в дальнейшем может быть связано с сохранением воспалительного процесса в стенке кишки при неполной элиминации *Cl. difficile* за счет наличия вегетативных спор или высоковирулентного штамма возбудителя [5]. Поэтому в клинической практике особую важность имеет установление граничного значения толщины кишечной стенки (более 6,0 мм в любом из отделов ободочной кишки) для определения риска развития рецидива энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, у пациента после проведенного полного курса этиотропной терапии и при клиническом выздоровлении.

Полученные результаты о толщине стенки кишки как ключевом ультразвуковом показателе прогноза рецидива энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, хорошо согласуются с современной парадигмой ведения язвенного колита с учетом результатов интестинального УЗИ. Исследованиями последних лет установлено, что оценка ультразвуковых характеристик кишечной стенки является надежным показателем активности и распространенности воспаления, причем эта информация может быть ключевой для выбора эскалационного, поддерживающего или деэскалационного варианта лечения язвенного колита [14, 34].

При COVID-19 логично ожидать утолщение стенки кишки даже в случае отсутствия КДИ. Известно, что одной из мишеней вируса SARS-CoV2 является желудочно-кишечный тракт [19]. Действительно, в группе больных COVID-19 без КДИ толщина кишечной стенки была больше ($p < 0,0001$), чем при ААД с отсутствием как микроорганизма *Cl. difficile*, так и вируса SARS-CoV2. При сочетании COVID-19 и энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, вероятно, имеет место суммация эффек-

тов, приводящих к утолщению кишечной стенки. В случае отсутствия COVID-19 граничные диагностические значения толщины кишечной стенки для ААД, вызванной КДИ (3,2 мм), оказались несколько меньше, чем при наличии вируса SARS-CoV2 (4,0 мм).

Можно предполагать, что значительное утолщение кишечной стенки в результате тяжелой КДИ существенно превосходит местный эффект вируса SARS-CoV2, и поэтому граничное значение толщины стенки кишки оказалось сопоставимым при отсутствии и наличии COVID-19. Аналогичная ситуация прослеживается в случае оценки вероятности рецидива клостридиального энтероколита.

Таким образом, использование интестинальной эхографии для оценки кишечной стенки и окружающих структур позволяет детализировать диагностику энтероколита, вызванного *Cl. difficile*.

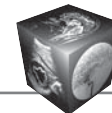
Выводы

1. Если антибиотик-ассоциированная диарея по данным ультразвукового исследования сопровождается распространенным утолщением кишечной стенки величиной более 3,2 мм, высоковероятно наличие энтероколита, вызванного *Cl. difficile*. В случае диареи у пациентов с COVID-19 обнаружение кишечной стенки толщиной более 4,0 мм указывает на наличие клостридиальной инфекции при исключении патологии кишечника ишемического генеза.

2. Тяжелое течение клостридиального энтероколита при эхографии характеризуется распространенным увеличением толщины толстокишечной стенки с максимальным значением более 7,2 мм. Кроме того, возможны дополнительные ультразвуковые признаки тяжелого течения энтероколита, вызванного *Cl. difficile*: наличие паракольной свободной жидкости и/или асцитической жидкости в различных областях брюшной полости; повышение эхогенности прилегающей к воспаленной кишке жировой ткани (сальника) и "увеличение" ее объема; нарушение стратификации стенки толстой кишки; утолщение стенки тонкой кишки более 3,0 мм; парез толстой кишки; токсический мегаколон.

3. Сохранение у пациентов с энтероколитом, вызванным *Cl. difficile*, утолщения кишечной стенки более 6,0 мм по результатам ультразвукового исследования после проведения стандартного курса лечения с достижением клинического целевого результата (отсутствие диареи, нормализация температуры и лабораторных показателей) является предиктором рецидива заболевания.

4. В случае сочетания энтероколита, вызванного *Cl. difficile*, с COVID-19 можно использовать вы-



шеописанные ультразвуковые диагностические критерии псевдомембранозного колита при установлении его тяжелого течения и высокой вероятности рецидива.

Участие авторов

Пиманов С.И. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Рущкая И.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных, написание текста.

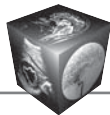
Authors' participation

Pimanov S.I. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, writing text, approval of the final version of the article.

Rutskaya I.A. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, statistical analysis, writing text.

Список литературы [References]

1. Palestro C.J., Brandon D.C., Dibble E.H. et al. FDG PET in Evaluation of Patients With Fever of Unknown Origin: AJR Expert Panel Narrative Review. *Am. J. Roentgenol.* 2023; 221 (2): 151–162. <https://doi.org/10.2214/AJR.22.28726>
2. Тимина И.Е., Бурцева Е.А., Пяткова И.И., Кармазановский Г.Г. Возможности ультразвуковой диагностики параганглиом шеи. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (1): 65–75. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1389>
3. Timina I.E., Burtseva E.A., Pyatkova I.I., Karmazanovsky G.G. Possibilities of ultrasound diagnostics of paragangliomas of the neck. *Medical Visualization.* 2024; 28 (1): 65–75. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1389> (In Russian)
4. Мартиросян Э.А., Кармазановский Г.Г., Соколова Е.А., Готов А.В., Марапов Д.И. Подслизистые образования желудка: новый инструмент для дифференциальной диагностики гастроинтестинальных стромальных опухолей и лейомиом при компьютерной томографии с контрастным усилением. *Медицинская визуализация.* 2020; 24 (4): 27–41. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-27-41> (In Russian)
5. Martirosyan E.A., Karmazanovsky G.G., Sokolova E.A. et al. Submucosal gastric lesions: a CECT-based tool for differential diagnosis between gastrointestinal stromal tumor and leiomyoma. *Medical Visualization.* 2020; 24 (4): 27–41. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-27-41> (In Russian)
6. Kelly C.R., Fischer M., Allegretti J.R. et al. ACG Clinical Guidelines: Prevention, Diagnosis, and Treatment of *Clostridioides difficile* Infections. *Am. J. Gastroenterol.* 2021; 116 (6): 1124–1147. <https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000001278>
7. Ивашкин В.Т., Ляшенко О.С., Драпкина О.М., Алексеева О.П., Алексеенко С.А., Андреев Д.Н., Барановский А.Ю., Голощапов О.В., Железнова Н.В., Зольникова О.Ю., Клярская И.Л., Корочанская Н.В., Лапина Т.Л., Маев И.В., Маслеников Р.В., Мязин Р.Г., Павлов П.В., Перекалина М.В., Писаренко Н.А., Повторейко А.В., Полуэктова Е.А., Секретарева Л.А., Ткачев А.В., Трошкина Ю.М., Трухманов А.С., Ульянин А.И., Филатова С.Г., Цуканов В.С., Шифрин О.С. Практические рекомендации Научного сообщества по содействию клиническому изучению микробиома человека, Российской гастроэнтерологической ассоциации и Российского общества по профилактике неинфекционных заболеваний по диагностике и лечению *Clostridioides difficile* (*C. difficile*)-ассоциированной болезни у взрослых. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии.* 2023; 33 (3): 85–119. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2023-33-3-85-119>
8. Ivashkin V.T., Lyashenko O.S., Drapkina O.M. et al. Clinical Practice Guidelines of the Scientific Society for the Clinical Study of Human Microbiome, of the Russian Gastroenterological Association and the Russian Society for the Prevention of Noncommunicable Diseases on the Diagnosis and Treatment of *Clostridioides difficile* (*C. difficile*)-associated Disease in Adults. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology.* 2023; 33 (3): 85–119. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2023-33-3-85-119> (In Russian)
9. Goodman P.C., Federle M.P. Pseudomembranous colitis. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1980; 4 (3): 403–404. <https://doi.org/10.1097/00004728-198006000-00017>
10. Okafor C.M., Clogher P., Olson D. et al. Trends in and Risk Factors for Recurrent *Clostridioides difficile* Infection, New Haven County, Connecticut, USA, 2015–2020. *Emerg. Infect. Dis.* 2023; 29 (5): 877–887. <https://doi.org/10.3201/eid2905.221294>
11. Granata G., Bartoloni A., Codeluppi M. et al. On Behalf Of The CloVid Study Group. The Burden of *Clostridioides difficile* Infection during the COVID-19 Pandemic: A Retrospective Case-Control Study in Italian Hospitals (CloVid). *J. Clin. Med.* 2020; 9 (12): 3855. <https://doi.org/10.3390/jcm9123855>
12. Lewandowski K., Rosołowski M., Kaniewska M. et al. *Clostridioides difficile* infection in coronavirus disease 2019 (COVID-19): an underestimated problem? *Pol. Arch. Intern. Med.* 2021; 131 (2): 121–127. <https://doi.org/10.20452/pamw.15715>
13. Megibow A.J., Streiler M.L., Balthazar E.J., Bosniak M.A. Pseudomembranous colitis: diagnosis by computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1984; 8: 281–283.
14. Bolondi L., Ferrentino M., Trevisani F. et al. Sonographic appearance of pseudomembranous colitis. *J. Ultrasound. Med.* 1985; 4(9): 489–492. <https://doi.org/10.7863/jum.1985.4.9.489>
15. Downey D.B., Wilson S.R. Pseudomembranous colitis: sonographic features. *Radiology.* 1991; 180 (1): 61–64. <https://doi.org/10.1148/radiology.180.1.2052724>
16. Nylund K., Maconi G., Hollerweger A. et al. EFSUMB Recommendations and Guidelines for Gastrointestinal Ultrasound. *Ultraschall Med.* 2017; 38 (3): 273–284. <https://doi.org/10.1055/s-0042-115410>
17. Maconi G., Nylund K., Ripolles T. et al. EFSUMB Recommendations and Clinical Guidelines for Intestinal Ultrasound (GIUS) in Inflammatory Bowel Diseases.



- Ultraschall Med.* 2018; 39 (3): 304–317.
<https://doi.org/10.1055/s-0043-125329>
15. Петрук М.Н., Нешитов С.П. Псевдомембранозный колит. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2009; 4: 55–60. Petruk M.N., Neshitov S.P. Pseudomembranous colitis. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2009; 4: 55–60. (In Russian)
 16. Алексеечкина О.А., Дубров Э.Я., Владимиров Е.С. Возможности ультразвукового исследования в диагностике псевдомембранозного колита у хирургических больных. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2012; 21 (2): 29–35. Alekseechkina O.A., Dubrov E.Ya. Vladimirova E.S. Possibilities of ultrasound examination in the diagnosis of pseudomembranous colitis in surgical patients. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*. 2012; 21 (2): 29–35. (In Russian)
 17. Sartelli M., Di Bella S., McFarland L.V. et al. 2019 update of the WSES guidelines for management of Clostridioides (Clostridium) difficile infection in surgical patients. *Wid J. Emerg. Surg.* 2019; 14: 8.
<https://doi.org/10.1186/s13017-019-0228-3>
 18. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Общая ультразвуковая диагностика. Изд. 3-е Под ред. В.В. Митькова. М.: ВИДАР, 2019. 756 с. Practical guide to ultrasound diagnostics. General ultrasound diagnostics. 3rd ed / Ed. V.V. Mitkov. Moscow: VIDAR, 2019. 756 p. (In Russian)
 19. Тимербулатов М.В., Аитова Л.Р., Гришина Е.Е., Сакаев Э.М., Щекин В.С., Щекин С.В., Низамудинов Т.Р. Тяжелый псевдомембранозный колит на фоне перенесенной коронавирусной инфекции. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2022; 8: 53–60.
<https://doi.org/10.17116/hirurgia202208153> Timerbulatov M.V., Aitova L.R., Grishina E.E. et al. Severe pseudomembranous colitis in patients with previous coronavirus infection. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2022; 8: 53–60.
<https://doi.org/10.17116/hirurgia202208153> (In Russian)
 20. Song J.H., Kim Y.S. Recurrent Clostridium difficile Infection: Risk Factors, Treatment, and Prevention. *Gut Liver*. 2019; 13 (1): 16–24. <https://doi.org/10.5009/gnl18071>
 21. Filip S.S., Slivka R.M., Bratasiuk A.M., Skrypnyets Y.P., Shitev A.I. Pseudomembranous colitis as a complication in Covid-19. *Wiad. Lek.* 2024; 77 (3): 450–455.
<https://doi.org/10.36740/WLek202403112>
 22. Ma G.K., Brensinger C.M., Wu Q. Increasing incidence of multiply recurrent Clostridium difficile infection in the United States: a cohort study. *Ann. Intern. Med.* 2017; 167 (3): 152–158. <https://doi.org/10.7326/M16-2733>
 23. Van Smeden M., Reitsma J.B., Riley R.D. Clinical prediction models: diagnosis versus prognosis. *J. Clin. Epidemiol.* 2021; 132: 142–145.
<https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.01.009>
 24. Patangia D.V., Anthony Ryan C., Dempsey E. et al. Impact of antibiotics on the human microbiome and consequences for host health. *Microbiologyopen*. 2022; 11 (1): e1260.
<https://doi.org/10.1002/mbo3.1260>
 25. Chun P., Lim T.J., Hwang E.H. et al. Clinical Characteristics and Ultrasonographic Findings of Acute Bacterial Enterocolitis in Children. *Pediatr. Gastroenterol. Hepatol. Nutr.* 2017; 20 (2): 107–113.
<https://doi.org/10.5223/pghn.2017.20.2.107>
 26. Takeshita E., Matsuura B., Dong M.J. et al. Molecular characterization and distribution of motilin family receptors in the human gastrointestinal tract. *Gastroenterology*. 2006; 41 (3): 223–230.
<https://doi.org/10.1007/s00535-005-1739-0>
 27. Dietrich C.F., Hollerweger A., Dirks K. et al. EFSUMB Gastrointestinal Ultrasound (GIUS) Task Force Group: Celiac sprue and other rare gastrointestinal diseases ultrasound features. *Med. Ultrason.* 2019; 21 (3): 299–315.
<https://doi.org/10.11152/mu-2162>
 28. Dirks K., Calabrese E., Dietrich C. et al. EFSUMB Position Paper: Recommendations for Gastrointestinal Ultrasound (GIUS) in Acute Appendicitis and Diverticulitis. *Ultraschall Med.* 2019; 40 (2): 163–175.
<https://doi.org/10.1055/a-0824-6952>
 29. O'Sullivan S.G. The accordion sign. *Radiology*. 1998; 206 (1): 177–178. <https://doi.org/10.1148/radiology.206.1.9423669>
 30. Ramachandran I., Sinha R., Rodgers P. Pseudomembranous colitis revisited: spectrum of imaging findings. *Clin. Radiol.* 2006; 61 (7): 535–544.
<https://doi.org/10.1016/j.crad.2006.03.009>
 31. Macari M., Balthazar E.J., Megibow A.J. The accordion sign at CT: a nonspecific finding in patients with colonic edema. *Radiology*. 1999; 211 (3): 743–746.
<https://doi.org/10.1148/radiology.211.3.99jn32743>
 32. Duffin C., Mirpour S., Catanzano T., Moore C. Radiologic Imaging of Bowel Infections. *Semin. Ultrasound CT MR*. 2020; 41 (1): 33–45.
<https://doi.org/10.1053/j.sult.2019.10.004>
 33. Horton K.M., Corl F.M., Fishman E.K. CT evaluation of the colon: inflammatory disease. *Radiographics*. 2000; 20 (2): 399–418. <https://doi.org/10.1148/radiographics.20.2.g00mc15399>
 34. Helwig U., Fischer I., Hammer L. et al. Transmural Response and Transmural Healing Defined by Intestinal Ultrasound: New Potential Therapeutic Targets? *J. Crohns. Colitis*. 2022; 16 (1): 57–67.
<https://doi.org/10.1093/ecco-jcc/jjab106>

Для корреспонденции*: Пиманов Сергей Иванович – e-mail: pimanovs@tut.by, iporu@ya.ru

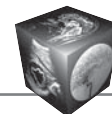
Пиманов Сергей Иванович – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой внутренних болезней и ультразвуковой диагностики факультета повышения квалификации и переподготовки кадров УО “Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет”, Витебск, Беларусь. <https://orcid.org/0000-0001-6067-3600>

Рущая Ирина Александровна – врач ультразвуковой диагностики, врач-инфекционист УЗ “Витебская областная клиническая инфекционная больница”, Витебск, Беларусь. <https://orcid.org/0009-0001-0477-8552>

Contact*: Sergey I. Pimanov – e-mail: pimanovs@tut.by, iporu@ya.ru

Sergey I. Pimanov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Department of Internal Diseases and Ultrasound Diagnosis of the Faculty of Advanced Training and Staff Retraining. Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University. Vitebsk, Belarus. <https://orcid.org/0000-0001-6067-3600>

Iryna A. Rutskeya – Ultrasound diagnostics doctor at the Department of Ultrasound Diagnostics, Infectious disease doctor, Vitebsk Regional Clinical Infectious Diseases Hospital, Vitebsk, Belarus. <https://orcid.org/0009-0001-0477-8552>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1524>

Сложности оценки местной распространенности рака поджелудочной железы с помощью компьютерной томографии после проведения неoadъювантного химиотерапевтического лечения (серия клинических наблюдений и обзор)

© Жарикова А.В.^{1, 2*}, Борискина К.П.¹, Кондратьев Е.В.²,
Сидоров Д.В.¹, Нечаев В.А.¹

¹ ГБУЗ города Москвы "Городская клиническая больница им. С.С. Юдина" ДЗ города Москвы; 115446 Москва, Коломенский проезд, д. 4, Российская Федерация

² ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России; 117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

Цель исследования: продемонстрировать сложности оценки местной распространенности протоковой аденокарциномы поджелудочной железы с помощью компьютерной томографии после проведения неoadъювантного химиотерапевтического лечения на примере серии клинических наблюдений.

Материал и методы. Проведен поиск научных публикаций и клинических рекомендаций в информационно-аналитической системе PubMed с использованием ключевых слов "pancreatic ductal adenocarcinoma", "resectable and borderline resectable", "locally advanced cancer", "neoadjuvant therapy response", "post-chemotherapy computed tomography", "radiomics" за последние 10 лет.

Результаты. Из найденных 30 источников для обзора отобрано 23.

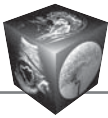
Заключение. Компьютерная томография остается основным методом оценки местной распространенности протоковой аденокарциномы поджелудочной железы, однако в ряде случаев не позволяет дифференцировать опухолевые, фиброзные и воспалительные изменения после неoadъювантного химиотерапевтического лечения.

Ключевые слова: протоковая аденокарцинома поджелудочной железы; резектабельная и погранично-резектабельная опухоль; местнораспространенная опухоль; оценка ответа на неoadъювантную химиотерапию; компьютерная томография после химиотерапии; радиомика

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Жарикова А.В., Борискина К.П., Кондратьев Е.В., Сидоров Д.В., Нечаев В.А. Сложности оценки местной распространенности рака поджелудочной железы с помощью компьютерной томографии после проведения неoadъювантного химиотерапевтического лечения (серия клинических наблюдений и обзор). *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (2): 51–59. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1524>

Поступила в редакцию: 18.01.2025. **Принята к печати:** 05.03.2025. **Опубликована online:** 18.04.2025.



Difficulties in assessing the local prevalence of pancreatic ductal adenocarcinoma using computed tomography after neoadjuvant chemotherapeutic treatment

© Alexandra V. Zharikova^{1, 2*}, Kseniya P. Boriskina¹, Evgeny V. Kondratyev², Dmitry V. Sidorov¹, Valentin A. Nechaev¹

¹ Yudin Moscow State Clinical Hospital; 4, Kolomenskiy proezd, Moscow 115446, Russian Federation

² A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., Moscow 117997, Russian Federation

Aim: to demonstrate the difficulties of assessing the local prevalence of pancreatic ductal adenocarcinoma using computed tomography (CT) after neoadjuvant chemotherapeutic treatment using the example of a series of clinical observations.

Materials and methods. A search was conducted for scientific publications and clinical recommendations in the PubMed information and analytical system using the keywords “pancreatic ductal adenocarcinoma”, “resectable and borderline resectable”, “locally advanced cancer”, “neoadjuvant therapy response”, “post-chemotherapy computed tomography”, “radiomics” over the past 10 years.

Results. From 30 sources found, 23 were selected for review.

Conclusion. Computed tomography remains the main method of assessing the local prevalence of ductal adenocarcinoma of the pancreas, however, in some cases it does not allow differentiating tumor, fibrous and inflammatory changes after neoadjuvant chemotherapeutic treatment.

Keywords: pancreatic ductal adenocarcinoma; resectable and borderline resectable tumor; locally advanced tumor; assessment of response to neoadjuvant chemotherapy; post-chemotherapy computed tomography; radiomics

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Zharikova A.V., Boriskina K.P., Kondratyev E.V., Sidorov D.V., Nechaev V.A. Difficulties in assessing the local prevalence of pancreatic ductal adenocarcinoma using computed tomography after neoadjuvant chemotherapeutic treatment. *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 51–59. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1524>

Received: 18.01.2025.

Accepted for publication: 05.03.2025.

Published online: 18.04.2025.

Введение

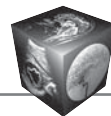
Рак поджелудочной железы (РПЖ) – одно из самых смертоносных злокачественных новообразований с пятилетней относительной выживаемостью 8% [1]. По морфологическому строению большую часть из них составляют протоковые аденокарциномы (ПАКПЖ) – до 85%, возникающие в экзокринных клетках поджелудочной железы и локализующиеся преимущественно в головке и крючковидном отростке органа. Одной из характерных особенностей ПАКПЖ является инфильтративный рост с инвазией окружающих анатомических структур [1].

При локализации РПЖ в головке, крючковидном отростке клинические проявления в виде желтухи, светлого стула манифестируют раньше, в отличие от опухоли хвоста. Это связано с более

быстрым распространением опухоли на главный панкреатический проток или за пределы паренхимы поджелудочной железы [1]. Особенности течения заболевания создают трудности для ранней диагностики опухоли и усложняют проведение основного радикального способа лечения – хирургического [1–3].

Согласно статистике, только 10–20% всех пациентов с ПАКПЖ могут быть оперированы на момент постановки диагноза, а большинству пациентов на первом этапе лечения требуется проведение неoadъювантной химиотерапии (НАХТ) с последующей оценкой ее эффективности [4, 5].

В последнее время активно обсуждается целесообразность проведения предоперационной химиотерапии у пациентов не только с погранично-резектабельной и местнораспространенной,



но и резектабельной протоковой аденокарциномой. Данная стратегия поможет сделать хирургическое вмешательство, а именно панкреатодуоденальную резекцию (ПДР) или дистальную резекцию, максимально эффективным по нескольким параметрам [4, 5]:

1) достичь R0 края резекции, который подразумевает полную резекцию первичной опухоли и регионарных лимфатических узлов,

2) минимизировать риск локорегионарного рецидива,

3) улучшить общую выживаемость.

Своевременная и качественная оценка ответа протоковой аденокарциномы поджелудочной железы на НАХТ имеет большое значение для достижения R0 края резекции и продления общей выживаемости [6].

Компьютерная томография (КТ) является стандартным методом диагностики РПЖ, который позволяет определить локализацию и взаимоотношение образования с основными сосудистыми структурами забрюшинного пространства (верхняя брыжеечная артерия – ВБА, чревный ствол – ЧС, общая печеночная артерия – ОПА, воротная вена – ВВ, верхняя брыжеечная вена – ВБВ и нижняя полая вена – НПВ), наличие отдаленных метастазов, а также используется для оценки ответа на проводимое лечение опухоли. При отсутствии отдаленных метастазов именно степень вовлечения магистральных сосудов будет играть ключевую роль в выборе тактики ведения пациента [5, 7].

КТ со своими преимуществами – это ценный инструмент в первичной диагностике опухоли, но после НАХТ можно столкнуться со сложностями в рестадировании опухоли, связанными с невозможностью дифференцировать опухолевую ткань от фиброзных/воспалительных изменений.

Цель исследования: продемонстрировать сложности оценки местной распространенности протоковой аденокарциномы поджелудочной железы с помощью КТ после проведения неoadъювантного химиотерапевтического лечения на примере серии клинических наблюдений.

Материал и методы

Проведен поиск научных публикаций и клинических рекомендаций в информационно-аналитической системе PubMed с использованием ключевых слов “pancreatic ductal adenocarcinoma”, “resectable and borderline resectable”, “locally advanced cancer”, “neoadjuvant therapy response”, “post-chemotherapy computed tomography”, “radiomics” за последние 10 лет.

Результаты исследования

Из найденных 30 источников для обзора отобрано 23.

Принципы резектабельности ПАКПЖ во многом определяются особенностями сосудистой анатомии данной области и степенью вовлеченности крупных сосудов в опухолевый процесс. Оснащенность лечебного учреждения, опыт хирургической бригады, возможности современной химиотерапии определяют выбор объема хирургического лечения ПАКПЖ.

Наибольшую сложность представляет группа погранично-резектабельных и местнораспространенных опухолевых процессов, получивших НАХТ в плане комбинированного плана лечения. В качестве иллюстрации приводим несколько клинических примеров, отражающих сложности интерпретации полученных КТ-изображений в сопоставлении с данными интраоперационной ревизии, объемом выполненной операции и результатами морфологического исследования.

Клиническое наблюдение 1

Пациент К., 66 лет, поступил с клинической картиной механической желтухи, что потребовало выполнения внутреннего стентирования наружных желчных протоков. По данным комплексного обследования диагностирована протоковая аденокарцинома головки поджелудочной железы. При КТ органов брюшной полости в области головки поджелудочной железы определялись опухолевое образование размерами 42 × 41 мм, вовлекающее общую печеночную артерию (ОПА) < 180°, деформация воротной вены (ВВ) с сужением просвета на уровне конfluence с селезеночной веной (СВ) (рис. 1а, б). Было проведено 12 курсов ПХТ по схеме FOLFIRINOX. При контрольном обследовании отмечено снижение уровня СА 19-9 с 1200 до 70 ед/мл. При контрольной КТ органов брюшной полости отмечена стабилизация опухолевого процесса со стороны первичного очага размерами 46 × 41 мм, но увеличение уровня вовлечения ОПА до 360° (рис. 1в). При этом отмечена вариантная анатомия сосудов целиако-мезентерильного бассейна: ОПА отходит от верхней брыжеечной артерии (ВБА). На междисциплинарном консилиуме было принято решение о хирургическом лечении. Пациенту была выполнена тотальная панкреатэктомия с резекцией и протезированием портomesентериального сегмента, резекция ЧС, резекция и протезирование общей печеночной артерии (рис. 1г).

При плановом морфологическом исследовании был отмечен терапевтический патоморфоз TRG2 по Mandard. Опухоль не врастала в стенку двенадцатиперстной кишки, а также элементы ЧС – урТ3N0M0Pn1L0V0R0.

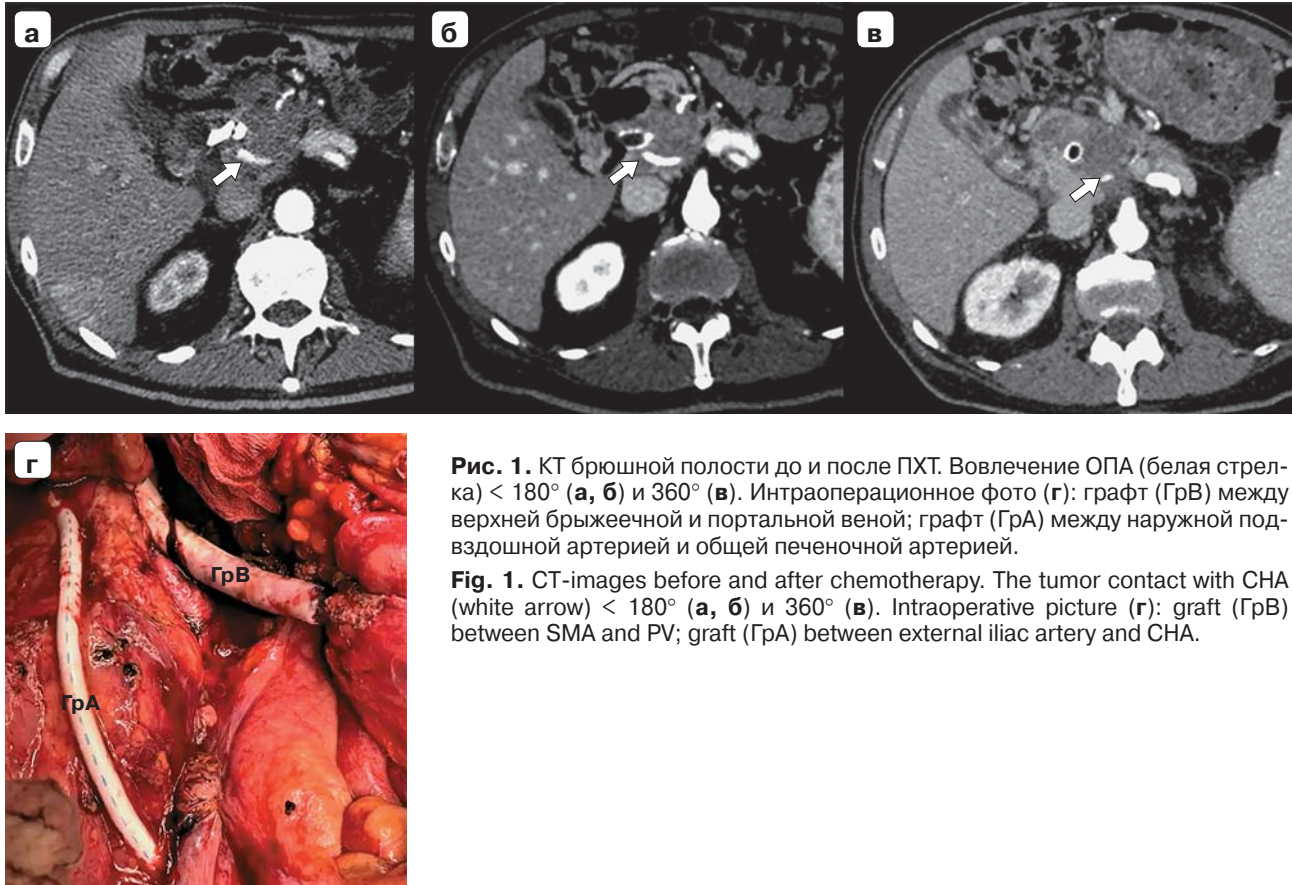
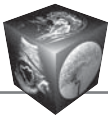


Рис. 1. КТ брюшной полости до и после ПХТ. Вовлечение ОПА (белая стрелка) $< 180^\circ$ (а, б) и 360° (в). Интраоперационное фото (г): графт (ГрВ) между верхней брыжеечной и портальной веной; графт (ГрА) между наружной подвздошной артерией и общей печеночной артерией.

Fig. 1. CT-images before and after chemotherapy. The tumor contact with CHA (white arrow) $< 180^\circ$ (a, б) and 360° (в). Intraoperative picture (г): graft (ГрВ) between SMA and PV; graft (ГрА) between external iliac artery and CHA.

Клиническое наблюдение 2

Пациентка Р., 50 лет, в связи с явлениями механической желтухи по месту жительства была сформирована холангиостома. По данным комплексного обследования диагностирована протоковая аденокарцинома головки поджелудочной железы. При КТ брюшной полости с контрастированием отмечено вовлечение в опухолевый процесс ВБА 360° и ВБВ $> 180^\circ$ (рис. 2а). После проведения 7 курсов ПХТ по схеме FOLFIRINOX была выполнена контрольная КТ, отмечена стабилизация процесса с уменьшением размеров первичного очага до 21×20 мм, сохранение контакта с ВБА 360° с некоторым уменьшением плотности окружающих тканей и уменьшение деформации ВБВ (рис. 2б). Выявлена вариантная анатомия сосудов ЦМБ: бифуркация ЧС на СА и ЛЖА, ОПА отходит отдельным стволом от аорты, в устье отхождения ЧС. ППА отходит от ВБА.

Согласно решению междисциплинарного консилиума, пациентке была выполнена пилоросохраняющая ПДР. Несмотря на сложности мобилизации, обусловленные выраженными фиброзными изменениями окружающих тканей, признаков истинного врастания опухоли в сосудистые структуры не было обнаружено (рис. 2в).

Морфологическая картина протоковой аденокарциномы головки поджелудочной железы с выраженным

фиброзом и регрессом опухоли (TRG2 по Mandard). Опухоль стадирована как ypT1b ypN0R0.

Клиническое наблюдение 3

Пациентка Т., 72 года, по месту жительства в связи с явлениями механической желтухи был сформирован гепатикоэнтероанастомоз. Для дальнейшего лечения направлена в онкологический центр № 1 ГКБ им. С.С. Юдина ДЗМ. По данным обследования картина опухолевого поражения головки поджелудочной железы с вовлечением сосудистых структур. При КТ брюшной полости с внутривенным контрастированием признаки вовлеченности портотомезентериального сегмента 360° , вовлечение ВБА $< 180^\circ$ (рис. 3а). Процесс признан «погранично-резектабельным». Было проведено 4 курса периоперационной химиотерапии по схеме FOLFIRINOX, лечение прервано в связи с явлениями выраженной токсичности.

При контрольной КТ брюшной полости с контрастированием: уменьшение размеров первичного опухолевого образования до 32×23 мм с уменьшением крапикаудального контакта с ВВ и ВБВ и сохранением контакта по окружности 360° (рис. 3б).

Была выполнена гастропанкреатодуоденальная резекция. При ревизии органов брюшной полости вы-

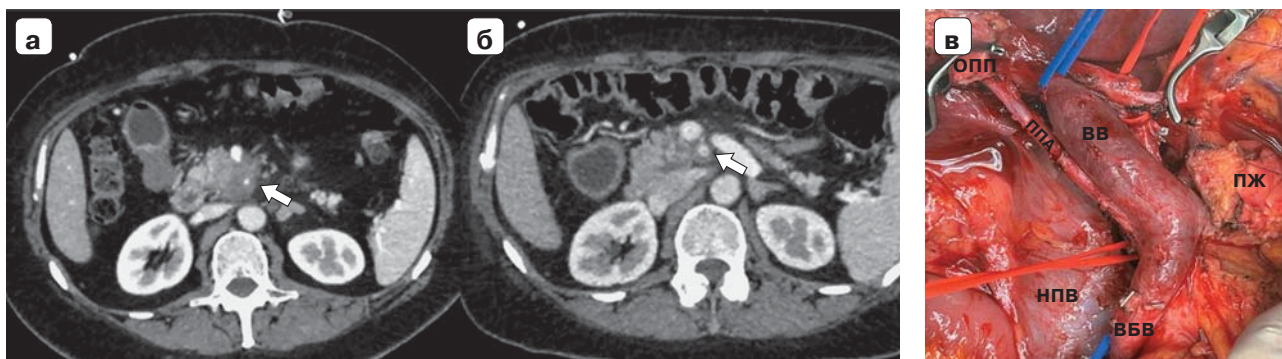
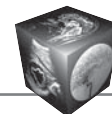


Рис. 2. КТ брюшной полости до и после ПХТ: признаки сужения ВБА (белая стрелка) и контактом 360° (а); уменьшение размеров образования с расширением просвета ВБА (белая стрелка) и сохранением контакта 360° (б); интраоперационное фото (в) после удаления опухоли. ВВ – воротная вена, ВБВ – верхняя брыжеечная вена, НПВ – нижняя полая вена, ППА – правая печеночная артерия, ПЖ – поджелудочная железа, ОПП – общий печеночный проток, ВБА – на красных держалках.

Fig. 2. CT-images before and after chemotherapy: SMA narrowing (white arrow) and contact with tumor 360° (а); the tumor shrinkage with the dilation of SMA (white arrow), contact 360° (б); intraoperative picture (в) after tumor removing. ВВ – portal vein, ВБВ – superior mesenteric artery, НПВ – inferior vena cava, ППА – right hepatic artery, ПЖ – pancreas, ОПП – the main pancreatic duct, SMA – on red ligatures.

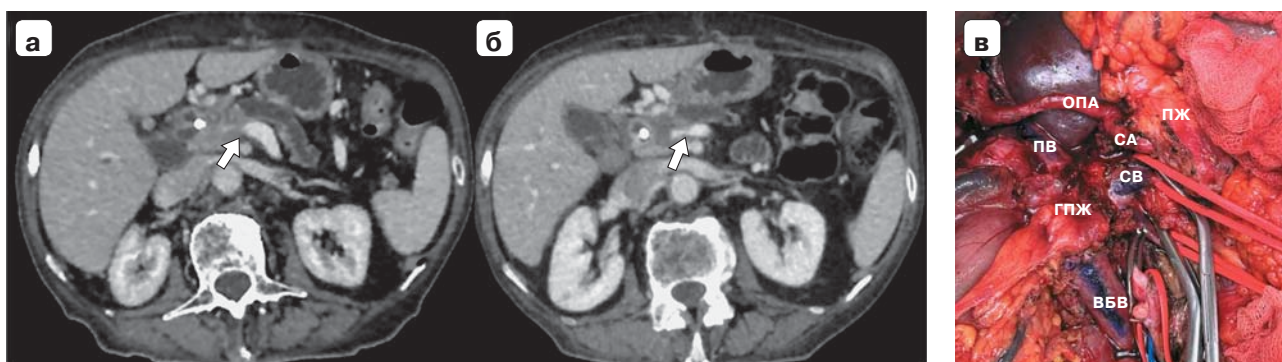


Рис. 3. КТ брюшной полости до и после ПХТ. а – образование головки поджелудочной железы с муфтообразным охватыванием и деформацией воротной вены (белая стрелка); б – уменьшение размеров образования с расширением просвета воротной вены и сохранением контакта опухоли с сосудом на 360°; в – интраоперационное фото: ПВ – портальная вена, ВБВ – верхняя брыжеечная вена, ОПА – общая печеночная артерия, СА – селезеночная артерия, СВ – селезеночная вена; ПЖ – поджелудочная железа, ГПЖ – опухоль в головке поджелудочной железы.

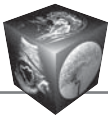
Fig. 3. CT-images before and after chemotherapy. а – pancreatic tumor with 360° contact with PV and its contour irregularity (white arrow); б – tumor shrinkage with the dilation of PV, contact 360°; в – intraoperative picture: ПВ – portal vein, ВБВ – superior mesenteric artery, ОПА – common hepatic artery, СА – splenic artery; СВ – splenic vein; ПЖ – pancreas, ГПЖ – the tumor in the head of the pancreas.

явлена выраженная опухолевая инфильтрация порто-мезентериального сегмента, что потребовало резекции и пластики последнего (рис. 3в). Селезеночная вена дополнительно была анастомозирована с ВБВ.

Микроскопическое исследование удаленного препарата подтвердило наличие протоковой аденокарциномы с терапевтическим патоморфозом (TRG4 по шкале Mandard). Наличие истинной инвазии в стенку двенадцатиперстной кишки без достоверного врастания в стенку кровеносных сосудов. Опухоль стадирована как ypT2N1M0R0.

Обсуждение

При планировании основного радикального способа лечения РПЖ (хирургического) на диагностическом этапе для определения распространенности опухоли и объема оперативного вмешательства проводится оценка взаимоотношения ПАКПЖ с магистральными сосудами забрюшинного пространства, такими как чревный ствол, верхняя брыжеечная артерия, общая печеночная артерия, воротная вена, верхняя брыжеечная и нижняя полая вены [8].



Стоит отметить, что существуют термины, характеризующие взаимосвязь опухоли и сосуда [8]:

- контакт: изменение периваскулярной клетчатки $<180^\circ$ окружности сосуда,
- вовлечение: изменение периваскулярной клетчатки $>180^\circ$ окружности сосуда (для венозных сосудов сочетание контакта сосуда $<180^\circ$ с деформацией просвета или тромбом считается вовлечением),
- деформация просвета.

В зависимости от степени вовлечения артериальных и венозных сосудов выделяют 3 группы опухолей [8–10]:

1) резектабельная – отсутствие контакта и вовлечения ЧС, ВБА, ОПА; отсутствие или наличие контакта $<180^\circ$ ВВ/ВБВ, отдаленного метастазирования нет;

2) погранично-резектабельная – контакт $\leq 180^\circ$ с ЧС/ВБА, контакт или вовлечение ОПА с возможностью реконструкции и/или вовлечение ВВ/ВБВ (контакт $>180^\circ$ окружности вены с наличием возможности реконструкции), отдаленного метастазирования нет;

3) местнораспространенный процесс – вовлечение $>180^\circ$ ЧС (при локализации опухоли в головке/крючковидном отростке)/ВБА, отдаленного метастазирования нет.

Вопрос о целесообразности проведения оперативного лечения рассматривается в индивидуальном порядке. В представленных клинических наблюдениях на момент операции образования соответствовали критериям нерезектабельных согласно клиническим рекомендациям NCCN (2024) [11]. У двух из трех пациентов на противоопухолевой лекарственной терапии была отмечена стабилизация опухолевого процесса согласно критериям RECIST1.1. Один из пациентов был взят на операцию на фоне отрицательной динамики по размерам образования (после изначального достижения ответа и перерыва в терапии). Во всех случаях решение об оперативном лечении было принято на междисциплинарном консилиуме с учетом возможности протезирования и реконструкции сосудов.

Среди традиционных методов визуализации в повседневной клинической практике наиболее востребована КТ с контрастным усилением, которая имеет ряд преимуществ и недостатков. Среди преимуществ можно выделить: высокое пространственное разрешение, позволяющее оценить опухоль и сосуды на мультипланарных реконструкциях, доступность метода и быстрота выполнения, обнаружение отдаленных метастазов на уровне сканирования. Однако качество исследования может быть снижено за счет артефактов в зоне

интереса после ранее выполненного билиарного стентирования и возможных воспалительных изменений после эндоскопической ретроградной холангиопанкреатографии [4].

Несмотря на преимущества КТ с контрастным усилением, согласно исследованиям М.Н. Katz и соавт. в 2012 г. [12] и С.Р. Ferrone и соавт. в 2015 г. [13] КТ, а также используемые критерии RECIST1.1 не подходят для оценки резектабельности опухоли после неoadьювантной химиотерапии (FOLFIRINOX).

На фоне интенсивной десмопластической реакции первичной опухоли на компьютерной томограмме специалисты в зависимости от опыта визуализации могут по-разному оценивать одни и те же изменения, в связи с этим возможны расхождения в оценке ответа на лечение. Например, фиброзные изменения могут имитировать остаточную опухоль, а участки некроза расценены как уменьшение размеров опухоли. После лечения структура опухоли часто становится неоднородной за счет сочетания зон некроза/фиброза, на фоне чего увеличивается шанс пропустить участок жизнеспособной опухоли [14].

Используемые для оценки ответа на НАХТ критерии RECIST1.1, при минимальном изменении которых говорят о вероятном ответе опухоли, имеют ограничения и не обладают высокой точностью [15, 16]:

1) частичное уменьшение протяженности контакта опухоли с сосудами (измерения протяженности контакта субъективны);

2) изменение плотности образования (вариация плотности образования не является информативной в отношении ответа на НАХТ);

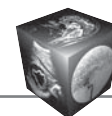
3) уплотнение периваскулярной клетчатки;

4) уменьшение размеров образования (не каждое образование может уменьшиться в размере на фоне НАХТ и отсутствие уменьшения образования нельзя расценивать как отсутствие ответа на НАХТ);

5) стоит учитывать показатели СА19-9 <200 ЕД/мл.

Другие методы визуализации, такие как магнитно-резонансная томография с диффузионно-взвешенными изображениями (МРТ с ДВИ), перфузионная КТ, ПЭТ/КТ, также имеют неоднозначные возможности в интерпретации изменений структуры опухоли в ответ на проводимое лечение [6].

Согласно проведенным исследованиям, изменение сигнальных характеристик ПАПЖ при МРТ на ДВИ и ИКД, перфузионные показатели патологического процесса при КТ и метаболической активности при ПЭТ продемонстрировали про-



тиворечивые результаты и значимо не превосходят КТ с контрастированием в оценке ответа опухоли на проведенное лекарственное лечение [5, 16, 17].

Во всех представленных нами клинических наблюдениях по данным КТ отмечался значимый контакт опухолевого процесса с крупными мезентериальными сосудами. Однако по данным постоперационного гистологического исследования истинной инвазии опухоли в стенку сосудов выявлено не было, что продемонстрировало явные ограничения КТ в оценке местной распространенности ПАКПЖ после проведенного неоадьювантного химиотерапевтического лечения. Вероятно, периваскулярное распространение инфильтрата, визуализируемого при КТ и расцененного как опухолевый рост, соответствовало фиброзным изменениям как проявление ответа опухоли на проведенную лекарственную терапию.

Для повышения качества диагностического этапа требуется поиск новых подходов для оценки эффективности проводимого лечения. Одним из перспективных направлений в обработке, анализе и интерпретации лучевых исследований является такое направление, как радиомика. С помощью данного метода из зоны интереса (опухоли, перитуморальной ткани, периваскулярной ткани) вычисляются радиомические характеристики, которые потенциально можно использовать для оценки раннего ответа на лечение [18, 19].

В зависимости от корреляции текстурных показателей до и после лечения рентгенологу будет проще принять решение о динамике опухолевого процесса, что, в свою очередь, поможет подобрать подходящую тактику лечения (подготовка к хирургическому вмешательству или продолжение медикаментозного лечения). Проведено небольшое количество исследований, посвященных оценке ответа опухоли поджелудочной железы на НАХТ и химиолучевую терапию при помощи радиомических моделей, по результатам которых авторы выявили параметры текстурных характеристик, которые потенциально могут быть использованы для ранней оценки ответа на лечение и коррекции терапии [20–22]. Представляет интерес применение комбинированных моделей радиомики и глубокого машинного обучения для анализа большего количества признаков и выявления связей между ними [23].

Заключение

Компьютерная томография остается основным методом оценки местной распространенности протоковой аденокарциномы поджелудочной

железы, однако в ряде случаев не позволяет дифференцировать опухолевые, фиброзные и воспалительные изменения после НАХТ. Для повышения качества диагностического этапа и адекватного планирования лечения требуется поиск новых подходов для оценки эффективности проводимого лечения.

Участие авторов

Жарикова А.В. – обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и создание опубликованной работы.

Борискина К.П. – обзор публикаций по теме статьи, написание текста, участие в научном дизайне.

Кондратьев Е.В. – обзор публикаций по теме статьи, подготовка и редактирование текста.

Сидоров Д.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, подготовка и редактирование текста.

Нечаев В.А. – подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Zharikova A.V. – review of publications, writing text, preparation and creation of the published work.

Boriskina K.P. – review of publications, writing text, participation in scientific design.

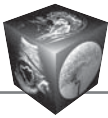
Kondratyev E.V. – review of publications, text preparation and editing.

Sidorov D.V. – concept and design of the study, collection and analysis of data, text preparation and editing.

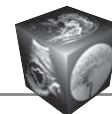
Nechaev V.A. – text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Saad A.M., Turk T., Al-Husseini M.J., Abdel-Rahman O. Trends in pancreatic adenocarcinoma incidence and mortality in the United States in the last four decades; a SEER-based study. *BMC Cancer*. 2018; 18 (1): 688. <http://doi.org/10.1186/s12885-018-4610-4>
2. Егоров В.И., Петров Р.В., Амосова Е.Л., Харазов А.Ф., Петров К.С., Журина Ю.А., Кондратьев Е.В., Зельтер П.М., Дзигасов С.О., Григорьевский М.В. Дистальная резекция поджелудочной железы с резекцией чревного ствола вместе с правой или левой печеночной артерией без артериальной реконструкции (расширенная DP-CAR). *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2021; 10: 13 28. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202110113>
Egorov V.I., Petrov R.V., Amosova E.L. et al. Distal pancreatectomy with resection of the celiac trunk, right or left hepatic artery without arterial reconstruction (extended DP-CAR). *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2021; 10: 13 28. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202110113> (In Russian)
3. Tamm E.P., Bhosale P.R., Vikram R. et al. Imaging of pancreatic ductal adenocarcinoma: State of the art.



- Wild J. *Radiol.* 2013; 5 (3): 98–105.
<https://doi.org/10.4329/wjrv.5.i3.98>
4. Khasawneh H., Ferreira Dalla Pria H.R., Miranda J. et al. CT Imaging Assessment of Pancreatic Adenocarcinoma Resectability after Neoadjuvant Therapy: Current Status and Perspective on the Use of Radiomics. *J. Clin. Med.* 2023; 12 (21): 6821.
<https://doi.org/10.3390/jcm12216821>
 5. Soloff E.V., Al-Hawary M.M., Desser T.S. et al. Imaging Assessment of Pancreatic Cancer Resectability After Neoadjuvant Therapy: AJR Expert Panel Narrative Review. *Am. J. Roentgenol.* 2022; 218 (4): 570–581.
<https://doi.org/10.2214/AJR.21.26931>
 6. Zhang Y., Huang Z.X., Song B. Role of imaging in evaluating the response after neoadjuvant treatment for pancreatic ductal adenocarcinoma. *Wild J. Gastroenterol.* 2021; 27 (22): 3037–3049. <https://doi.org/10.3748/wjg.v27.i22.3037>
 7. Egorov V., Kim P., Dzigasov S. et al. Pancreatectomy with En Bloc Superior Mesenteric Vein and All Its Tributaries Resection without PV/SMV Reconstruction for “Low” Locally Advanced Pancreatic Head Cancer. *Cancers (Basel)*. 2024; 16 (12): 2234.
<https://doi.org/10.3390/cancers16122234>
 8. Buchs N.C., Chilcott M., Poletti P.-A. et al. Vascular invasion in pancreatic cancer: Imaging modalities, preoperative diagnosis and surgical management. *Wild J. Gastroenterol.* 2010; 16 (7): 818–831.
<https://doi.org/10.3748/wjg.v16.i7.818>
 9. Al-Hawary M.M., Francis I.R., Chari S.T. et al. Pancreatic ductal adenocarcinoma radiology reporting template: consensus statement of the Society of Abdominal Radiology and the American Pancreatic Association. *Radiology*. 2014; 270 (1): 248–260.
<https://doi.org/10.1148/radiol.13131184>
 10. Жарикова А.В., Кондратьев Е.В., Тихонова В.С., Груздев И.С., Ростовцев М.В., Марков П.В., Стручков В.Ю., Кармазановский Г.Г. Влияние современных технологий компьютерной и магнитно-резонансной томографии на дооперационное стадирование рака поджелудочной железы. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (2): 118–133.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1452>
Zharikova A.V., Kondratyev E.V., Tikhonova V.S. et al. The influence of modern computer and magnetic resonance imaging technologies on the preoperative staging of pancreatic cancer. *Medical Visualization*. 2024; 28 (2): 118–133. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1452> (In Russian)
 11. NCCN 2024, <https://www.nccn.org>
 12. Katz M.H., Fleming J.B., Bhosale P. et al. Response of borderline resectable pancreatic cancer to neoadjuvant therapy is not reflected by radiographic indicators. *Cancer*. 2012; 118 (23): 5749–5756.
<https://doi.org/10.1002/cncr.27636>
 13. Ferrone C.R., Marchegiani G., Hong T.S. et al. Radiological and surgical implications of neoadjuvant treatment with FOLFIRINOX for locally advanced and borderline resectable pancreatic cancer. *Ann. Surg.* 2015; 261: 12–17.
<https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000867>
 14. Wang Z.J., Arif-Tiwari H., Zaheer A. et al. Therapeutic response assessment in pancreatic ductal adenocarcinoma: society of abdominal radiology review paper on the role of morphological and functional imaging techniques. *Abdom. Radiol (NY)*. 2020; 45 (12): 4273–4289. <https://doi.org/10.1007/s00261-020-02723-z>
 15. Zins M., Matos C., Cassinotto C. Pancreatic Adenocarcinoma Staging in the Era of Preoperative Chemotherapy and Radiation Therapy. *Radiology*. 2018; 287 (2): 374–390.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2018171670>
 16. Zimmermann C., Distler M., Jentsch C. et al. Evaluation of response using FDG-PET/CT and diffusion weighted MRI after radiochemotherapy of pancreatic cancer: a non-randomized, monocentric phase II clinical trial-PaCa-DD-041 (Eudra-CT 2009-011968-11). *Strahlenther Onkol.* 2021; 197 (1): 19–26.
<https://doi.org/10.1007/s00066-020-01654-4>
 17. Perik T.H., van Genugten E.A.J., Aarntzen E.H.J.G. et al. Quantitative CT perfusion imaging in patients with pancreatic cancer: a systematic review. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2022; 47 (9): 3101–3117.
<https://doi.org/10.1007/s00261-021-03190-w>
 18. Кармазановский Г.Г., Кондратьев Е.В., Груздев И.С., Тихонова В.С., Шантаревич М.Ю., Замятина К.А., Сташків В.И., Ревішвили А.Ш. Современная лучевая диагностика и интеллектуальные персонализированные технологии в гепатопанкреатологии. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2022; 77 (4): 245–253. <https://doi.org/10.15690/vramn2053>
Karmazanovsky G.G., Kondratyev E.V., Gruzdev I.S. et al. Modern Radiation Diagnostics and Intelligent Personalized Technologies in Hepatopancreatology. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2022; 77 (4): 245–253. <https://doi.org/10.15690/vramn2053> (In Russian)
 19. Tikhonova V.S., Karmazanovsky G.G., Kondratyev E.V. et al. Radiomics model-based algorithm for preoperative prediction of pancreatic ductal adenocarcinoma grade. *Eur. Radiol.* 2023; 33 (2): 1152–1161.
<https://doi.org/10.1007/s00330-022-09046-1>
 20. Ciaravino V., Cardobi N., De Robertis R. et al. CT Texture Analysis of Ductal Adenocarcinoma Downstaged After Chemotherapy. *Anticancer Res.* 2018; 38 (8): 4889–4895.
<https://doi.org/10.21873/anticancer.12803>
 21. Chen X., Oshima K., Schott D. et al. Assessment of treatment response during chemoradiation therapy for pancreatic cancer based on quantitative radiomic analysis of daily CTs: An exploratory study. *PLoS One*. 2017; 12 (6): e0178961.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178961>
 22. Kim B.R., Kim J.H., Ahn S.J. et al. CT prediction of resectability and prognosis in patients with pancreatic ductal adenocarcinoma after neoadjuvant treatment using image findings and texture analysis. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (1): 362–372. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5574-0>
 23. Замятина К.А., Жарикова А.В., Кондратьев Е.В., Усталов А.А., Староверов Н.Е., Нефедьев Н.А., Гожева А.Р., Шмелева С.А., Кармазановский Г.Г. Оценка диагностической ценности глубокого машинного обучения для автоматизированной сегментации паренхимы поджелудочной железы и ее гипо- и гиперваскулярных образований по КТ-изображениям с помощью U-net нейросети. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (3): 12–21. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1483>
Zamyatina K.A., Zharikova A.V., Kondratyev E.V. et al. Deep Machine Learning for Automatic Segmentation of the Pancreatic Parenchyma and its hypo- and hypervascular lesions on CT Images. *Medical Visualization*. 2024; 28 (3): 12–21. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1483> (In Russian)



Для корреспонденции*: Жарикова Александра Витальевна – e-mail: zha-vit@yandex.ru

Жарикова Александра Витальевна – врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница им. С.С. Юдина” ДЗ города Москвы; соискатель ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8117-6670>. E-mail: zha-vit@yandex.ru

Борискина Ксения Петровна – врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница им. С.С. Юдина” ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1950-2188>

Кондратьев Евгений Валерьевич – канд. мед. наук, заведующий отдела лучевых методов диагностики и лечения ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. E-mail: evgenykondratiev@gmail.com

Сидоров Дмитрий Владимирович – доктор мед. наук, заведующий онкологическим отделением №7, врач-онколог ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница им. С.С. Юдина” ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8282-9351>

Нечаев Валентин Александрович – канд. мед. наук, заведующий центром комплексной диагностики, врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница им. С.С. Юдина” ДЗ города Москвы, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6716-5593>

Contact*: Alexandra V. Zharikova – e-mail: zha-vit@yandex.ru

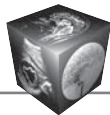
Alexandra V. Zharikova – radiologist, Yudin Moscow State Clinical Hospital; applicant, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8117-6670>. E-mail: zha-vit@yandex.ru

Kseniya P. Boriskina – radiologist, Yudin Moscow State Clinical Hospital; applicant, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1950-2188>

Evgeny V. Kondratyev – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Diagnostic Radiology Department at the A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>. E-mail: evgenykondratiev@gmail.com

Dmitry V. Sidorov – Doct. of Sci. (Med.), Head of Oncology Department No. 7, Oncologist, Yudin Moscow State Clinical Hospital; applicant, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8282-9351>

Valentin A. Nechaev – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Center for Comprehensive Diagnostics, Radiologist, Yudin Moscow State Clinical Hospital; applicant, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6716-5593>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1510>

Особенности КТ- и МРТ-семиотики фосфатурической мезенхимальной опухоли

© Бурякина С.А. *, Гронская С.А., Тарбаева Н.В., Белая Ж.Е., Мокрышева Н.Г.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России;
117292 Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11, Российская Федерация

Цель исследования: изучить характерные КТ- и МРТ-признаки фосфатурических мезенхимальных опухолей.

Материал и методы. Проанализированы КТ- и МРТ-изображения 13 пациентов с фосфатурическими мезенхимальными опухолями. Оценивались размер, локализация, форма, контуры, структура образования, накопление контрастного препарата, взаиморасположение относительно кортикального слоя, размер лимфатических узлов.

Результаты. Выявлено 8 опухолей костей (размер в среднем $23 \pm 9,6$ мм) и 5 – мягких тканей ($36,2 \pm 47,5$ мм).

У пациентов с опухолями мягких тканей преобладала овальная форма. Контуры у всех опухолей были ровные, опухоли прилежали к кортикальному слою кости по данным КТ в 75% случаев. По данным МРТ во всех случаях опухоли прилежали к кортикальному слою кости. В половине случаев в структуре опухоли определялись обызвествления. Структура опухолей по данным КТ была однородная, в то время как по данным МРТ в половине наблюдений визуализировались перегородки. При контрастном усилении при КТ и МРТ опухоли мягких тканей интенсивно накапливали контрастный препарат.

У пациентов с внутрикостным расположением опухоли было преобладание округлой формы. В одном наблюдении была выявлена большая опухоль крестца размером около 40 мм, пролабирующая в позвоночный канал. Опухоли были преимущественно остеолитические со склерозированными контурами и были расположены субкортикально. В структуре определялся остеοидный или хондрοидный матрикс в виде обызвествлений и кальцинатов. По данным КТ в 3 случаях опухоли интенсивно накапливали контрастный препарат, в 3 случаях не накапливали контрастный препарат и в 1 наблюдении отмечалось слабое накопление контрастного препарата. При МРТ все образования интенсивно накапливали контрастный препарат.

Заключение. Фосфатурическая мезенхимальная опухоль может встречаться в костях и мягких тканях. КТ и МРТ позволяют их выявить и определить границы хирургической резекции, однако должны использоваться как методы второй линии диагностики после радиоизотопных методов. Использование нового диагностического признака – прилегание образований костей и мягких тканей к кортикальному слою и заострение внимания врачами-рентгенологами на данной зоне позволит снизить риск «пропустить» опухоль.

Ключевые слова: КТ; МРТ; фосфатурическая мезенхимальная опухоль

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

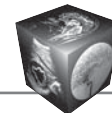
Источники финансирования. Государственное задание №124020700097-8 «Новые технологии диагностики и дифференциальной диагностики первичного и вторичного остеопороза на фоне эндокринопатий и орфанных заболеваний скелета».

Для цитирования: Бурякина С.А., Гронская С.А., Тарбаева Н.В., Белая Ж.Е., Мокрышева Н.Г. Особенности КТ- и МРТ-семиотики фосфатурической мезенхимальной опухоли. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (2): 60–71. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1510>

Поступила в редакцию: 28.10.2024.

Принята к печати: 04.12.2024.

Опубликована online: 21.02.2025.



CT and MRI features of phosphaturic mesenchymal tumor

© Svetlana A. Buryakina*, Sofia A. Gronskaia, Natalia V. Tarbaeva, Zhanna E. Belaya, Natalia G. Mokrysheva

National Medical Research Center of Endocrinology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 11b, Dmitry Ulyanov str., Moscow 117292, Russian Federation

The aim of the study was to study the characteristic CT and MRI features of phosphaturic mesenchymal tumors. **Material and methods.** CT and MRI images of 13 patients with phosphaturic mesenchymal tumors were analyzed. The size, localization, shape, contours, structure of the tumor, accumulation of contrast agent, a position relative to the cortical layer, and size of the lymph nodes were assessed.

Results. Eight bone tumors (average size 23 ± 9.6 mm) and 5 soft tissue tumors (36.2 ± 47.5 mm) were detected.

In patients with soft tissue tumors, the oval shape was predominant. The contours of all tumors were smooth, the tumors were adjacent to the cortical bone layer according to CT data in 75% of cases. According to MRI data, in all cases the tumors were adjacent to the cortical bone layer. In half of cases, calcifications were determined in the tumor structure. The structure of the tumor according to CT data was homogeneous, while in half of the cases, septa were visualized on MRI images. Soft tissue tumors intensively enhanced on CT and MRI. In patients with bone tumor, rounded shapes predominated. In one case, a large sacral tumor (measuring about 40 mm) prolapsed into the spinal canal. The tumors were predominantly osteolytic with sclerotic contours and were located subcortically. Osteoid or chondroid matrix in the form of calcifications was determined in the structure. According to CT data, in 3 cases the tumors intensively enhanced, in 3 cases they did not enhance, and in 1 observation there was a weak enhancement. In MRI, all lesions intensively enhanced.

Conclusion. Phosphaturic mesenchymal tumor can occur in bones and soft tissues. CT and MRI allow to identify them and determine the boundaries of surgical resection, but should be used as second-line diagnostic methods after radioisotope methods. The use of a new diagnostic feature: the adjacency of bone and soft tissue formations to the cortical layer, and focusing attention by radiologists on this area may reduce the risk of “missing” the tumor.

Keywords: CT; MRI; phosphaturic mesenchymal tumor

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

Funding No. 124020700097-8 “New technologies for diagnostics and differential diagnostics of primary and secondary osteoporosis associated with endocrinopathies and orphan diseases of the skeleton.”

For citation: Buryakina S.A., Gronskaia S.A., Tarbaeva N.V., Belaya Zh.E., Mokrysheva N.G. CT and MRI features of phosphaturic mesenchymal tumor. *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 60–71. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1510>

Received: 28.10.2024.

Accepted for publication: 04.12.2024.

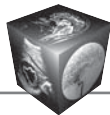
Published online: 21.02.2025.

Введение

Остеомаляция – это системное заболевание костной ткани, при котором из-за дефицита кальция и (или) фосфора накапливается неминерализованный остеоид. Это приводит к повышенной мягкости костей и их склонности к переломам.

Этиология данного заболевания разнообразна. Одной из причин является фосфатурическая мезенхимальная опухоль (ФМО), секретирующая фактор роста фибробластов 23 (ФРФ23). В большинстве случаев образования доброкачественные. Однако описаны злокачественные случаи [1, 2]. Кроме того, известны случаи, когда метастазы злокачественных немезенхимальных опухолей начинали секретировать ФРФ23 [3]. Гистологические признаки данной опухоли включают в себя мелко-

клеточный гемангиоперицитарный компонент, толстостенные сосуды, грубодисперсные кальцинаты, пролиферацию гигантских клеток, литические очаги остеомаляции и аморфный бесклеточный матрикс [4]. Чаще всего болеют люди среднего возраста, одинаково мужчины и женщины. В России опубликована работа, в которой проанализированы клинические и биохимические характеристики 40 пациентов, а также единичные клинические наблюдения [5–7]. Согласно проведенным исследованиям, в 35% случаев опухоль была локализована в мягких тканях и в 65% в костной ткани [8]. Опухоли могут встречаться в любых мягких тканях и костях, но редко в паренхиматозных органах и ретроперитонеальном пространстве [9–11]. В мягких тканях опухоль



чаще всего поражает конечности и их дистальные отделы, тогда как опухоли костей обычно поражают добавочный скелет (ключицы, лопатки, кости верхних конечностей, кости таза и кости нижних конечностей), кости черепа и околоносовые пазухи. Размеры опухолей небольшие и составляют 1–2 см [12]. Поиск опухолей, продуцирующих ФРФ23, строится поэтапно и включает в себя функциональную и анатомическую визуализацию. Для функциональной визуализации применяют методы, основанные на средстве диагностических радиофармпрепаратов (РФП) к опухолевым рецепторам (соматостатиновые 2A типа SSTR2A): скintiграфия с РФП (^{99m}Tc -тектротид, ^{111}In -октреотид) либо позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ, ПЭТ/КТ) с РФП (соли галлия: ^{68}Ga DOTA-TATE/DOТА-ТОС/DOТА-НОС). Для анатомической визуализации в зависимости от расположения и природы опухоли применяют МРТ, МСКТ, УЗИ. Однако не всегда есть возможность произвести дорогостоящие и труднодоступные методы функциональной визуализации, поэтому особое значение приобретают более доступные методы исследования – КТ и МРТ. В литературе лучевая диагностика данных образований описана в небольшом количестве статей и в большинстве случаев представлена клиническими наблюдениями (всего около 2000) [13, 14]. Это обусловлено редкостью данного заболевания. Кроме того, из-за малых размеров и медленного роста опухоль долго остается нераспознанной, а качество жизни пациента стремительно ухудшается. Знание специфики лучевых признаков ФМО позволит повысить выявляемость данных опухолей с помощью КТ и МРТ.

Цель данной работы: проанализировать специфические КТ- и МРТ-признаки ФМО, изучить характерные КТ- и МРТ-признаки ФМО, выявить новые признаки.

Задачи исследования: оценить возможности КТ и МРТ в качестве методов первой линии для топической диагностики ФМО, а также семиотику данных опухолей и выявить новые дифференциально-диагностические признаки.

Дизайн исследования: ретроспективное одноцентровое наблюдательное исследование.

Материал и методы

В период с 2019 по 2023 г. в Национальном медицинском исследовательском центре эндокринологии проводилось обследование и лечение 13 пациентов (6 мужчин (46,2%) и 7 (53,8%) женщин в возрасте от 29 до 66 лет ($43 \pm 15,9$ года)) с ФМО костей и мягких тканей. Среди них у 8 (61,5%) пациентов опухоль была расположена

в костях, у 5 (38,5%) – в мягких тканях. У всех пациентов выявлена тяжелая гипофосфатемия, проявляющаяся болями в костях, признаками проксимальной миопатии. У пациентов выявили типичные лабораторные маркеры ФРФ23-индуцированной остеомалии: гипофосфатемия $0,47 [0,42; 0,55]$ ммоль/л (референсный интервал (РИ) $0,74–1,52$), повышение уровня щелочной фосфатазы (ЩФ) до $200 [115; 297]$ Ед/л (РИ $40–150$), сниженный тубулярный индекс реабсорбции фосфора (TRP, %) – $66 [58; 72]\%$ (РИ более 85%).

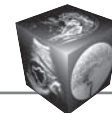
КТ была выполнена 11 пациентам с ФМО. МСКТ всего тела с болюсным контрастным усилением проводилась на мультidetекторных компьютерных томографах Revolution CT и Optima CT660 и General Electric (GE Healthcare) с параметрами сканирования: коллимация 0,9 мм, интервал реконструкции 0,45 мм, питч 1, скорость вращения трубки 0,75 с. Внутривенно всем пациентам вводили неионное контрастное средство с помощью двухголовчатого автоматического инъектора со скоростью 4–5 мл/с. Болюс контрастного препарата сопровождался “преследователем” болюса (40–50 мл физиологического раствора). Артериальная и венозная фазы были на 10-й и 34-й секундах после достижения порогового уровня плотности (120–150 ед.Н) в аорте.

МРТ была выполнена 9 пациентам. МРТ костей и мягких тканей конечностей и головы выполняли по стандартному для выбранной области протоколу на магнитно-резонансных томографах Signa Pioneer 3 Тл и Optima MR450w 1,5 Тл General Electric (GE Healthcare) с наличием следующих последовательностей: T1ВИ, T2ВИ, T2 STIR. У 5 пациентов были получены диффузионно-взвешенные изображения. 7 пациентам внутривенно вводили гадолинийсодержащие контрастные средства с помощью двухголовчатого автоматического инъектора со скоростью 4–5 мл/с. Болюс контрастного препарата сопровождался “преследователем” болюса (40–50 мл физиологического раствора).

При этом 7 пациентам были выполнены оба метода диагностики.

Окончательный диагноз был установлен по результатам гистологического исследования у всех пациентов.

У всех пациентов по данным КТ и МРТ оценивали наибольший размер образования и анализировали следующие качественные показатели: локализация, форма (округлая, овальная, неправильная), контуры (ровные, бугристые/дольчатые), однородность/неоднородность структуры, накопление контрастного препарата, увеличение регионарных лимфатических узлов. При оценке опухолей костей и мягких тканей по данным КТ



и МРТ определяли локализацию относительно кости (прилежание к кортикальному слою).

У пациентов с опухолями костей по данным КТ также оценивалось наличие склерозированного контура, кальцинатов, перегородок в структуре.

На полученных МР-изображениях у пациентов с опухолями костей и мягких тканей оценивался МР-сигнал относительно окружающих мышц (гипер-, изо-, гипоинтенсивный), наличие ограничения диффузии.

Дополнительно проведен анализ результатов сцинтиграфии с ^{99m}Tc -тектротидом, выполненной 7 пациентам с опухолями костей и 4 пациентам с опухолями мягких тканей (одному пациенту с опухолью кости и одному пациенту с опухолью мягких тканей исследование не проводилось, поскольку ранее им выполнена ПЭТ/КТ с ^{68}Ga DOTA-TATE).

Статистическая обработка данных была произведена на основе результатов ретроспективного анализа КТ- и МРТ-исследований с помощью

электронных таблиц Microsoft Excel, пакета прикладных программ SPSS версии 17.0. Все полученные количественные данные обработаны методом вариационной статистики.

Результаты исследования

В НМИЦ эндокринологии за период с 2019 по 2024 г. было обследовано 13 пациентов (6 мужчин (среди них 4 с опухолями костей, 2 с опухолями мягких тканей) и 7 женщин (среди них 4 с опухолями костей, 3 с опухолями мягких тканей) в возрасте $49 \pm 12,8$ года (от 29 до 66 лет) (рис. 1).

По результатам КТ- и МРТ-исследований выявлено 13 ФМО, среди них 8 (61,5%) пациентов были с опухолями костей и 5 (38,5%) пациентов с опухолями мягких тканей. Зависимость между локализацией и полом пациента не была выявлена.

КТ-исследование было выполнено 7 (63,6%) пациентам с внутрикостными опухолями и 4 (36,4%) пациентам с опухолями мягких тканей, МРТ –

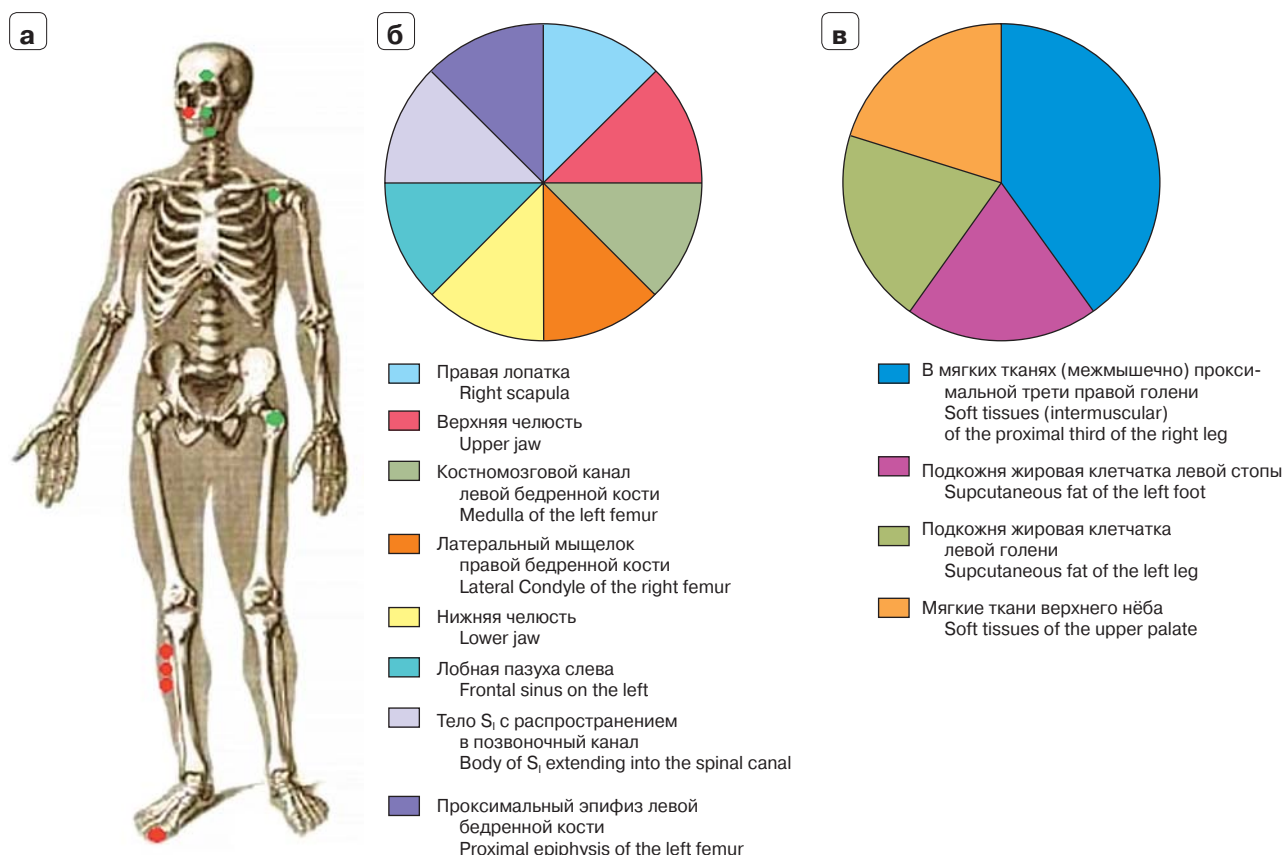


Рис. 1. а – локализация опухолей костей и мягких тканей. Зеленые кружки – опухоли костей, красные кружки – опухоли мягких тканей; **б** – локализация опухолей, расположенных в костях; **в** – локализация опухолей, расположенных в мягких тканях.

Fig. 1. а – localization of bone and soft tissue tumors. Green circles – bone tumors, red circles – soft tissue tumors; **б** – localization of tumors located in bones; **в** – localization of tumors located in soft tissues.

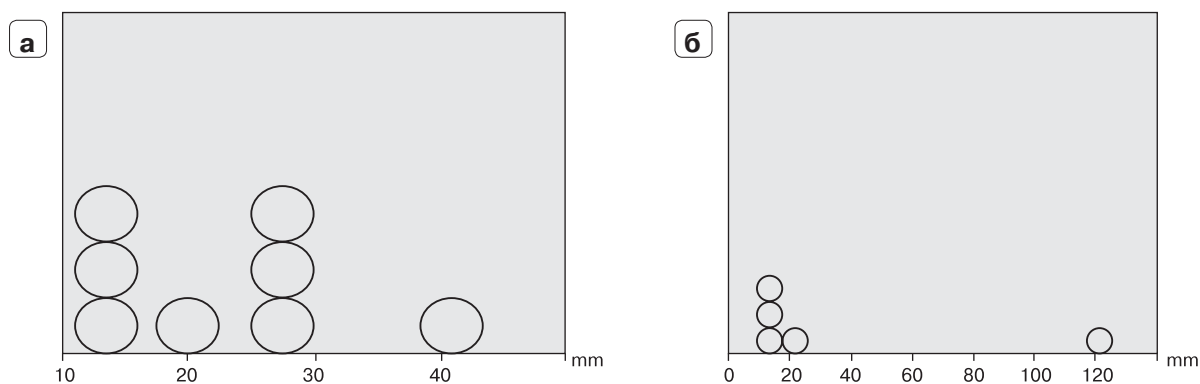


Рис. 2. Размер опухолей костей (**а**), мягких тканей (**б**).

Fig. 2. Size of bone tumors (**a**), soft tissues (**b**).

4 (44,4%) пациентам с опухолями мягких тканей и 5 (55,6%) пациентам с опухолями костей. По результатам проведенных КТ- и МРТ-исследований были выявлены различные семиотические признаки.

Опухоли костей были размером в среднем $23 \pm 9,6$ (от 13 до 41) мм (рис. 2а), опухоли мягких тканей – в среднем $36,2 \pm 47,5$ (от 12 до 121) мм (рис. 2б). При этом у 4 пациентов размер опухоли

был от 12 до 21 мм и в одном случае размер образования был 121 мм.

У пациентов с **опухолями мягких тканей** преобладала овальная форма (табл. 1). Контуры у всех опухолей были ровные. Опухоли представляли собой небольшие по размеру образования, которые были расположены межмышечно и прилежали к кортикальному слою кости по данным КТ в 75% случаев (субкортикальное расположение).

Таблица 1. Качественные КТ-признаки фосфатурических мезенхимальных опухолей

Table 1. Qualitative CT signs of phosphaturic mesenchymal tumors

Качественные КТ-признаки фосфатурических мезенхимальных опухолей Qualitative CT signs of phosphaturic mesenchymal tumors		Опухоли мягких тканей Soft tissue tumors	Внутрикостные опухоли Intraosseous tumors
Форма Form	Округлая / Rounded	1	3
	Овальная / Oval	3	2
	Неправильная / Irregular	–	2
Контур Contour	Ровный / Smooth	4	6
	Бугристый (дольчатый) / Lobulated	–	1
Структура Structure	Остеолитическое / Osteolytic		1
	Остеосклеротическое / Osteosclerotic	–	6
Наличие кальцинатов / Calcification		2	5
Склерозированные контуры / Sclerotic contours		–	5
Прилежание опухоли к кортикальному слою кости Attachment of the tumor to the cortical layer		3	7
Наличие перегородок в структуре The presence of septations in the structure		–	1
Однородная структура опухоли Homogeneous structure of the tumor		2	2
Накопление контрастного препарата Contrast enhancing lesion	Отсутствует / Absent	–	3
	Интенсивное / Intense	4	3
	Незначительное / Insignificant	–	1
Итого пациентов / Total number of patients		4	7

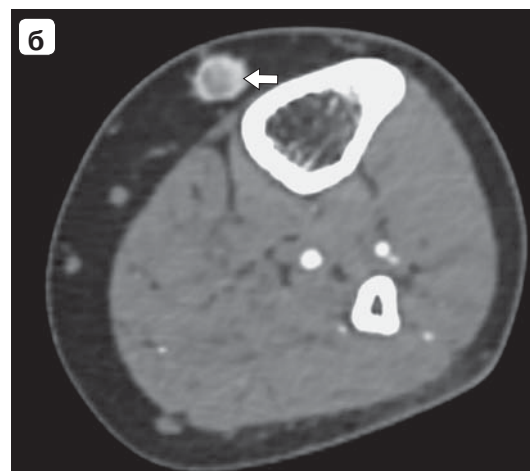
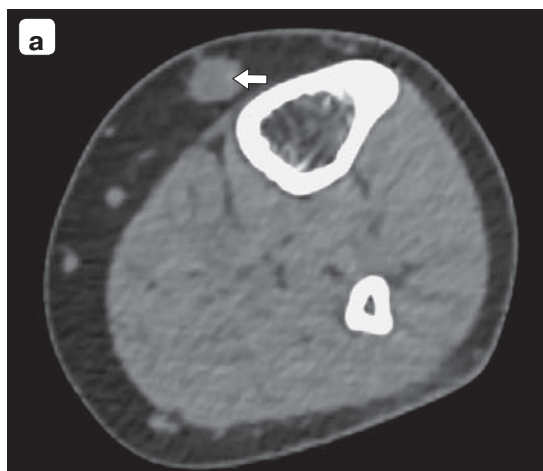
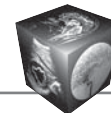


Рис. 3. КТ-исследование, аксиальная проекция, нативная фаза. Фосфатурическая мезенхимальная опухоль в подкожной жировой клетчатке левой голени (стрелка). **а** – нативная фаза; **б** – артериальная фаза.

Fig. 3. CT study, axial projection, native phase. Phosphaturic mesenchymal tumor in the subcutaneous fat of the left leg (arrow). **a** – native phase; **б** – arterial phase.

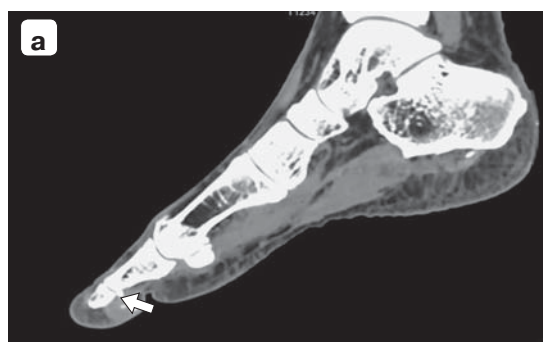


Рис. 4. КТ-исследование, сагиттальная проекция. Фосфатурическая мезенхимальная опухоль мягких тканей левой стопы с кальцинатами в структуре (стрелка). **а** – нативная фаза; **б** – артериальная фаза.

Fig. 4. CT, sagittal projection. Phosphaturic mesenchymal tumor of the soft tissues of the left foot with calcifications in the structure (arrow). **a** – native phase; **б** – arterial phase.

В 1 наблюдении образование было расположено в подкожной жировой клетчатке голени и не прилежало к кости (рис. 3), в другом наблюдении было расположено в подкожной жировой клетчатке I пальца стопы и прилежало к подошвенной поверхности ногтевой фаланги (рис. 4). По данным МРТ во всех случаях опухоли прилежали к кортикальному слою кости.

В половине случаев в структуре опухоли определялись обызвествления. Структура опухолей по данным КТ была однородная, в то время как по данным МРТ в половине наблюдений в структуре визуализировались перегородки. При контрастном усилении при КТ и МРТ опухоли мягких тканей интенсивно накапливали контрастный препарат.

У пациентов с **внутрикостным расположением опухоли** было небольшое преобладание округ-

лой формы, но встречалась также овальная и неправильная форма. В одном наблюдении была выявлена большая опухоль крестца размером около 40 мм, пролабирующая в позвоночный канал (рис. 5). В большинстве случаев опухоли были остеолитические со склерозированными контурами. Лишь в одном наблюдении образование имело однородную склеротическую структуру (рис. 6). У всех пациентов опухоль была расположена субкортикально. В большинстве случаев структура опухоли была неоднородная за счет остеοидного или хондроидного матрикса, который визуализировался на КТ-изображениях в виде различной формы обызвествлений и кальцинатов (рис. 7). В 2 (28,6%) наблюдениях в структуре были обызвествления по типу перегородок и в 2 (28,6%) наблюдениях – кальцинаты. При кон-

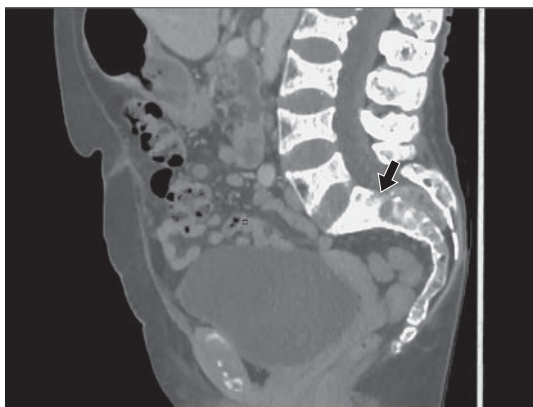
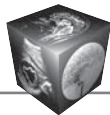


Рис. 5. КТ-изображение, костный режим. Опухоль крестца с пролабированием в позвоночный канал (стрелка).

Fig. 5. CT image, bone window. Tumor of the sacrum with prolapse into the spinal canal (arrow).

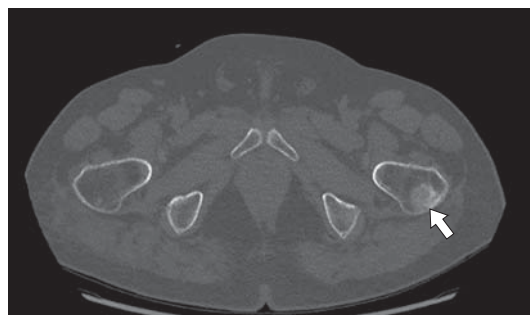


Рис. 6. КТ-изображение, костный режим. Фосфатурическая мезенхимальная опухоль левой бедренной кости. Остеосклеротическое образование, прилежащее к кортикальному слою кости (стрелка).

Fig. 6. CT image, bone window. Phosphaturic mesenchymal tumor of the left femur. Osteosclerotic lesion adjacent to the cortical layer of the bone (arrow).

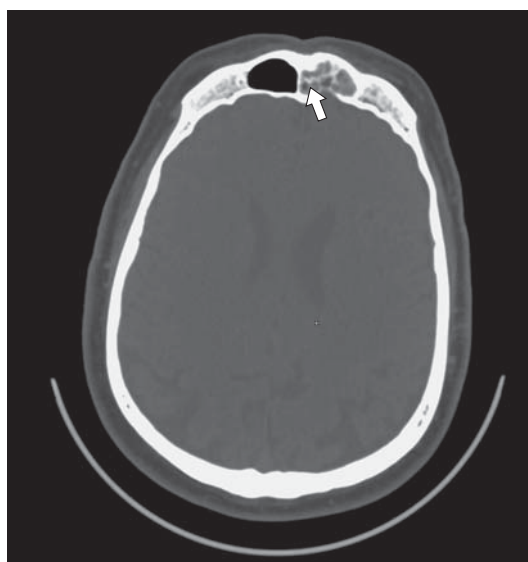


Рис. 7. КТ-изображение, костный режим. Фосфатурическая мезенхимальная опухоль левой лобной пазухи. В структуре определяется остеοидный матрикс по типу костных перегородок (стрелка).

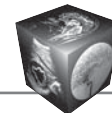
Fig. 7. CT image, bone window. Phosphaturic mesenchymal tumor of the left frontal sinus. An osteoid matrix similar to bone septa in the tumour (arrow).

трастном усилении опухоли по данным КТ в 3 случаях интенсивно накапливали контрастный препарат, в 3 случаях не накапливали контрастный препарат и лишь в 1 наблюдении отмечалось слабое накопление контрастного препарата. Однако по данным МРТ все образования интенсивно накапливали контрастный препарат (табл. 2).

Опухоли костей и мягких тканей в большинстве наблюдений имели гиперинтенсивный МР-сигнал на T2ВИ и T2 STIR ВИ и гипо-/изоинтенсивный МР-сигнал на T1ВИ. В подавляющем большинст-

ве случаев опухоли не ограничивали диффузию и лишь у одного пациента с внутрикостной локализацией были признаки ограничения диффузии (см. табл. 2).

По результатам сцинтиграфии среди 7 пациентов с опухолями костей отмечались признаки гиперфиксации РФП у 5 (71,4%) пациентов, у 2 (28,6%) пациентов опухоль не была выявлена. Среди 4 пациентов с опухолями мягких тканей у 3 (75%) пациентов была выявлена опухоль, у 1 (25%) пациента опухоль выявить не удалось (табл. 3).

**Таблица 2.** Качественные МР-признаки фосфатурических мезенхимальных опухолей**Table 2.** Qualitative MR features of phosphaturic mesenchymal tumors

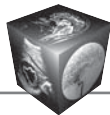
Качественные МР-признаки фосфатурических мезенхимальных опухолей Qualitative MR signs of phosphaturic mesenchymal tumors		Опухоли мягких тканей Soft tissue tumors	Внутрикостные опухоли Intraosseous tumors
Форма Form	Округлая / Rounded	1	2
	Овальная / Oval	3	2
	Неправильная / Irregular	–	1
Контур Contour	Ровный / Smooth	4	3
	Бугристый (дольчатый) / Lobulated	–	2
Интенсивность МР-сигнала на T2ВИ и T2 STIR MR signal intensity on T2 and T2 STIR	Гиперинтенсивный / Hyperintense	3	4
	Гипоинтенсивный / Hypointense	–	
	Изоинтенсивный / Isointense	–	1
Интенсивность МР-сигнала на T1ВИ MR signal intensity on T1	Гиперинтенсивный / Hyperintense	–	
	Гипоинтенсивный / Hypointense	2	2
	Изоинтенсивный / Isointense	2	3
Ограничение диффузии в опухоли Restricted diffusion in the tumour	Есть / Presented	–	1
	Нет / Not presented	2	2
	Не проводилось / Not carried out	2	1
Субкортикальная локализация / Subcortical localization		4	6
Наличие перегородок в структуре / The presence of septations in the structure		2	2
Однородная структура опухоли / Homogeneous structure of the tumor		2	3
Накопление контрастного препарата Contrast enhancing lesion	Отсутствует / Absent	–	
	Интенсивное / Intense	3	4
	Незначительное / Insignificant	–	
	Не проводилось / Not carried out	1	1
Итого пациентов / Total number of patients		4	5

Таблица 3. Диагностика фосфатурических мезенхимальных опухолей по результатам лучевых и радиоизотопных методов обследования**Table 3.** Diagnosis of phosphaturic mesenchymal tumors based on the results of different types of radiology techniques

Пациент Patient	Локализация опухоли Tumor localization	Сцинтиграфия в режиме “все тело” с ^{99m} Tc-тектротидом, совмещенная с ОФЭКТ/КТ ^{99m} Tc tectrotide SPECT	ПЭТ/КТ с ⁶⁸ Ga DOTA-TATE ⁶⁸ Ga DOTA-TATE PET/CT	КТ CT	MPT MRI
1	Кость / Bone	–	–	+	
2	Кость / Bone	+			+
3	Кость / Bone	–	–	+	
4	Мягкие ткани / Soft tissue	+			+
5	Мягкие ткани / Soft tissue	–	+	+	+
6	Кость / Bone	+		+	+
7	Кость / Bone	+	+	+	+
8	Кость / Bone	+		+	
9	Мягкие ткани / Soft tissue	+		+	+
10	Мягкие ткани / Soft tissue	+		+	
11	Кость / Bone			+	+
12	Кость / Bone			+	+
13	Кость / Bone	+		+	+

Примечание. «+» – ФРФ-опухоль была выявлена, «–» – отсутствие визуализации опухоли, незаполненные ячейки – исследование не проводилось.

Note. «+» – FGF tumor was detected. “–” – no tumor visualization, blank cells – the study was not performed.



ПЭТ/КТ с ^{68}Ga DOTA-TATE была выполнена 4 пациентам. Из них у 2 пациентов (один с опухолью кости, второй с опухолью мягких тканей) было выявлено патологическое накопление РФП в опухоли.

Обсуждение

Остеомалация – это системное заболевание костной ткани, когда из-за недостаточного поступления кальция и/или фосфора в кости накапливается неминерализованный остеоид, костная ткань становится крайне хрупкой, развиваются множественные переломы.

Основными причинами являются: 1) недостаток поступления кальция или фосфора в организм (вследствие мальабсорбции, заболеваний желудочно-кишечного тракта, дефицита витамина D и др.), 2) перераспределение минералов в организме (при острых состояниях, декомпенсированном сахарном диабете и др.), 3) избыточное выведение минералов (заболевания почек, наследственные рахиты, прием лекарственных средств, опухоль, секретирующая ФРФ23, гиперпаратиреоз и др.). ФРФ23-продуцирующая опухоль проявляется гипофосфатемией, снижением тубулярной реабсорбции фосфатов, множественными переломами, болями в костях, мышечной слабостью. После удаления опухоли симптомы остеомалации нивелируются.

Образования обычно небольшого размера, в среднем 3,4 (1,1–9,8) см [15]. Как правило, они расположены либо в костях, либо в мягких тканях, реже в костях с распространением в мягкие ткани. Костная локализация в нашем исследовании выявлялась чаще (у 8 пациентов). Преобладание костной локализации подтверждается данными литературы [16].

На МР-изображениях ФМО обычно изоинтенсивны на T1, гиперинтенсивны на T2. Солидный компонент обычно интенсивно накапливает контрастный препарат [17]. По данным A.L. Richardson и соавт., с ростом опухоли увеличивается выраженность неоднородности ее структуры на T2ВИ и неоднородность контрастирования на МР-изображениях. В структуре можно выявить участки “flow voids” (области с выпадением МР-сигнала из-за эффектов кровотока), представляющие собой попавшие в срез резко расширенные извитые питающие сосуды [18].

С целью топической диагностики данных опухолей используются различные методы диагностики: КТ, МРТ, ПЭТ/КТ с солями галлия: ^{68}Ga DOTA-TATE/ ^{68}Ga DOTA-NOC, ^{111}In -пентетреотидом (октреотидом), соматостатин-рецепторная скintiграфия (с применением $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тектротида).

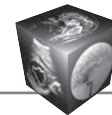
Радионуклидные методы диагностики имеют первостепенное значение в выявлении данных образований. В настоящее время ПЭТ/КТ с применением ^{68}Ga -DOTA-TATE, соматостатин-рецепторная скintiграфия (с применением $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тектротида) имеют тропность к соматостатиновым рецепторам подтипа 2, активно используются для выявления нейроэндокринных опухолей и ФРФ23-опухолей и являются наиболее надежными методами локализации данных опухолей. Однако не всегда есть возможность проведения данных методов исследования, что вынуждает осуществлять поиск опухоли с помощью МСКТ- и МРТ-исследований.

По данным КТ внутрикостные ФМО имеют неспецифические признаки. Как правило, это остеолитические, гораздо реже остеосклеротические или смешанные остеолитические и остеосклеротические образования с четкими, преимущественно склерозированными, ровными контурами, которые имеют узкую зону перехода и обычно содержат внутренний матрикс [19]. Данные изменения также были выявлены и в нашем исследовании (см. табл. 1). Оценка внутреннего матрикса (кальцификации) в структуре опухоли играет важную роль, так как он специфичен для данного типа опухоли [20]. В наших исследованиях он был выявлен у большинства пациентов (у 5 из 7). Обызвествления могут быть точечные, аморфные по типу тонких костных перегородок и даже по типу “матового стекла”. Этот КТ-признак коррелирует с паттерном кальцификации в опухоли, который напоминает примитивный хрящ или кость, наблюдаемые при гистологическом исследовании [20]. При этом вздутие кости не определялось ни у одного пациента. В 2 наблюдениях отмечалось локальное истончение (эндостальная деструкция) кортикального слоя на уровне внутрикостно расположенного образования.

Сложность поиска опухоли при оценке костей часто обусловлена множественными переломами, сопутствующими остеомалацией, в том числе с формированием избыточных костных мозолей, имитирующих опухолевую ткань.

Данные опухоли следует дифференцировать от бурых опухолей, гигантоклеточных опухолей, остеосаркомы и хондробластомы [17, 21]. Данные опухоли могут напоминать неоссифицирующую фиброму кости, гигантоклеточную опухоль, фиброзную гистиоцитому, фиброзную дисплазию, хрящевые опухоли (хондромиксоидные фибромы, хондробластомы и пр.) [22].

Опухоли мягких тканей, как правило, небольшого размера и по данным нашего исследования часто прилежали к кортикальному слою. Надо отметить, что в литературе данный признак ранее не



отмечался и его следует учитывать при поиске образований. Также в литературе упоминается о выявлении данных опухолей в коже, подкожно [8, 16].

По результатам нашего исследования образования внутрикостной и мягкотканной локализации в большинстве случаев были однородной структуры и имели гиперинтенсивный МР-сигнал на T2ВИ и равномерное интенсивное накопление контрастного препарата по данным МРТ, что сопоставимо с данными других авторов [23–24]. Таким образом, гиперинтенсивность большинства опухолей на T2ВИ, в том числе в режиме жироподавления (STIR), и выраженное накопление контрастного препарата являются ключевыми МР-признаками данных опухолей и позволяют четко их визуализировать на фоне окружающих мягких тканей. Ограничением МРТ является невозможность быстрого сканирования обширных зон тела с получением изображений высокого качества. По данным КТ только опухоли мягких тканей интенсивно накапливали контрастный препарат во всех случаях, а опухоли костей его интенсивно накапливали лишь в 3 из 7 наблюдений, что, безусловно, влияет на выявляемость данных опухолей. Интенсивное накопление контрастного препарата в большинстве наблюдений при МРТ, в отличие от КТ, безусловно, повышает чувствительность метода МРТ по сравнению с КТ. Одним из актуальных и очень перспективных методов диагностики у данной категории пациентов является МРТ всего тела с применением T2ВИ в режиме жироподавления (T2 STIR) как приоритетной в выявлении образований и может использоваться как альтернатива радиоизотопным методам исследования в случае невозможности их проведения. Результаты использования диффузионно-взвешенных изображений как по данным литературы, так и в нашем исследовании противоречивы и требуется накопление большего количества наблюдений для уточнения диагностической точности данного метода [23].

Опухоли мягких тканей следует дифференцировать с множественными различными образованиями мягких тканей, такими как нейрофиброма, гемангиоэндотелиома, фиброма, нейрофибросаркома, гемангиома, лейомиома, гигантоклеточная опухоль, гигантоклеточная репаративная гранулема, теносиновит, ганглионарная киста, гистиоцитома, десмоидная опухоль и неврома [24].

Однако настороженность врача-эндокринолога в отношении ФМО на основании полученных специфических лабораторных показателей, которая, как правило, отражена в направлении на исследование, должна учитываться врачом-рентгенологом при поиске, выявлении и дальнейшей харак-

теристике любой выявленной опухоли у пациента. Любая выявленная опухоль у пациента с фосфоренической остеомалацией опухолевого генеза должна вызывать подозрение врача-рентгенолога в отношении ФМО. Окончательный диагноз ставится на основании гистологического исследования послеоперационного материала, так как предоперационная биопсия не рекомендуется в связи с сообщениями о возможности метастазирования [25].

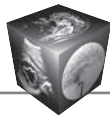
По данным литературы, методом первой линии диагностики являются радиоизотопные методы диагностики [26]. При выявлении по данным радиоизотопных методов исследования образования для последующей более детальной оценки его локализации и распространенности целесообразно проведение МРТ. КТ может использоваться как метод первичной топической диагностики в случае отсутствия радиоизотопных методов диагностики.

Ограничением нашего исследования является небольшое количество наблюдений и целесообразно дальнейшее накопление опыта.

Таким образом, при наличии клинических данных любое остеолитическое (остеосклеротическое) образование кости и мягкотканное образование при КТ и МРТ должно вызывать подозрение на ФРФ-опухоль.

Заключение

Фосфатурическая мезенхимальная опухоль может встречаться как в костях, так и в мягких тканях. Несмотря на тяжелые клинические проявления, подавляющее большинство опухолей являются доброкачественными и, как правило, удаление опухоли приводит к выздоровлению пациента. КТ и МРТ позволяют их выявить и в дальнейшем определить границы хирургической резекции. Опухоли костей чаще всего остеолитические (реже остеосклеротические или смешанные остеолитические и остеосклеротические), с преимущественно склерозированными ровными контурами, имеют узкую зону перехода, обычно содержат внутренний матрикс и часто не накапливают контрастный препарат по данным КТ. В то же время опухоли мягкотканной локализации накапливают контрастный препарат при КТ- и МР-исследованиях. При этом по данным МРТ как внутрикостные, так и мягкотканные образования в большинстве случаев имеют гиперинтенсивный МР-сигнал на T2ВИ и интенсивное накопление контрастного препарата, что, безусловно, повышает чувствительность метода по сравнению с КТ. Использование нового, часто встречающегося диагностического признака – прилегание образова-



ний костей и мягкий тканей к кортикальному слою, и заострение внимания врачами-рентгенологами на данной зоне позволит снизить риск “пропустить” опухоль. Однако КТ и МРТ все же менее пригодны для обнаружения данных опухолей, в отличие от радиоизотопных методов диагностики (ПЭТ/КТ и сцинтиграфия), и должны использоваться на втором этапе диагностики.

Источники финансирования

Государственное задание №124020700097-8 “Новые технологии диагностики и дифференциальной диагностики первичного и вторичного остеопороза на фоне эндокринопатий и орфанных заболеваний скелета”.

Участие авторов

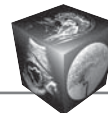
Все авторы внесли значимый вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Authors' participation

All authors made a significant contribution to the study and preparation of the article, read and approved the final version of the article before publication.

Список литературы [References]

1. Uramoto N., Furukawa M., Yoshizaki T. Malignant phosphaturic mesenchymal tumor, mixed connective tissue variant of the tongue. *Auris Nasus Larynx*. 2009; 36: 104–105. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2008.01.003>
2. Ogoe A., Hotta T., Emura I. et al. Recurrent malignant variant of phosphaturic mesenchymal tumor with oncogenic osteomalacia. *Skelet. Radiol*. 2001; 30: 99–103. <https://doi.org/10.1007/s002560000306>
3. Гронская С.А., Голоунина О.О., Буклемишев Ю.В., Хайриева А.В., Дегтярев М.В., Рожинская Л.Я., Белая Ж.Е. Клинический случай фосфопенической формы остеомалии вследствие паранеопластической секреции метастатического рака предстательной железы. *Остеопороз и остеопатии*. 2022; 25 (4): 43–51. <https://doi.org/10.14341/osteo12948>
Gronskaya S.A., Golounina O.O., Buklemishev Y.V. et al. A clinical case of phosphopenic osteomalacia due to paraneoplastic secretion of metastatic prostate cancer. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2022; 25 (4): 43–51. <https://doi.org/10.14341/osteo12948> (In Russian)
4. Folpe A.L., Fanburg-Smith J.C., Billings S.D. et al. Most osteomalacia-associated mesenchymal tumors are a single histopathologic entity: an analysis of 32 cases and a comprehensive review of the literature. *Am. J. Surg. Pathol*. 2004; 28 (1): 1–30. <https://doi.org/10.1097/0000478-200401000-00001>
5. Гронская С.А., Белая Ж.Е., Мельниченко Г.А. ФРФ23-индуцированная остеомалия опухолевого генеза. *Проблемы эндокринологии*. 2022; 68 (5): 56–66. <https://doi.org/10.14341/probl13130>
Gronskaya S.A., Belaya Z.E., Melnichenko G.A. FGF23 tumor induced osteomalacia. *Problemy Endokrinologii*. 2022; 68 (5): 56–66. <https://doi.org/10.14341/probl13130> (In Russian)
6. Булычева И.В., Родионова С.С., Карпенко В.Ю., Колондаев А.Ф., Козлова Е.В., Буклемишев Ю.Е. Онкогенная остеомалия/фосфатурическая мезенхимальная опухоль: клиническое наблюдение и обзор литературы. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*. 2022; 14 (1): 48–54. <https://doi.org/10.17650/2782-3687-2022-14-1-48-54>
Bulycheva I.V., Rodionova S.S., Karpenko V.Y. et al. Oncogenic osteomalacia/phosphaturic mesenchymal tumor: clinical case and literature review. *Bone and soft tissue sarcomas, tumors of the skin*. 2022; 14 (1): 48–54. <https://doi.org/10.17650/2782-3687-2022-14-1-48-54> (In Russian)
7. Еремкина А.К., Мирная С.С., Горбачева А.М., Паневин Т.С., Воронкова И.А., Мокрышева Н.Г. Случай гипофосфатемической остеомалии опухолевого генеза. *Ожирение и метаболизм*. 2020; 17 (2): 220–227. <https://doi.org/10.14341/omet12472>
Eremkina A.K., Mirnaya S.S., Gorbacheva A.M. et al. The case of oncogenic hypophosphatemic osteomalacia. *Obesity and Metabolism*. 2020; 17 (2): 220–227. <https://doi.org/10.14341/omet12472> (In Russian)
8. Гронская С.А., Белая Ж.Е., Рожинская Л.Я., Мельниченко Г.А., Дубовицкая Т.А., Мамедова Е.О., Родионова С.С., Буклемишев Ю.В., Пигарова Е.А., Дегтярев М.В., Бабаева Д.М., Владимирова В.П., Тарбаева Н.В., Серженко С.С., Григорьев А.Ю., Дзеранова Л.К., Карпенко В.Ю., Карасев А.Л., Федотов Р.Н., Ульянова И.Н., Торопцова Н.В., Лесняк О.М., Мокрышева Н.Г., Дедов И.И. Клинические проявления, принципы диагностики и лечения фосфатурических мезенхимальных опухолей, секретирующих фактор роста фибробластов 23: результаты наблюдения 40 случаев. *Проблемы эндокринологии*. 2023; 69 (5): 25–38. <https://doi.org/10.14341/probl13221>
Gronskaya S.A., Belaya Z.E., Rozhinskaya L.Y. et al. Clinical features, diagnostics and treatment of FGF23 secreting tumors: series of 40 clinical cases. *Problems of Endocrinology*. 2023; 69 (5): 25–38. <https://doi.org/10.14341/probl13221> (In Russian)
9. Leaf D.E., Pereira R.C., Bazari H., Juppner H. Oncogenic osteomalacia due to FGF23-expressing colon adenocarcinoma. *J. Clin. Endocrinol. Metab*. 2013; 98 (3): 887–891. <https://doi.org/10.1210/jc.2012-3473>
10. Lin H.A., Shih S.R., Tseng Y.T. et al. Ovarian cancer-related hypophosphatemic osteomalacia—a case report. *J. Clin. Endocrinol. Metab*. 2014; 99 (12): 4403–4407. <https://doi.org/10.1210/jc.2014-2120>
11. Xie Y., Li H.Z. Oncogenic osteomalacia caused by renal cell carcinoma. *J. Clin. Endocrinol. Metab*. 2013. 98 (12): 4597–4598. <https://doi.org/10.1210/jc.2013-3335>
12. Chong W.H., Andreopoulou P., Chen C.C. et al. Tumor localization and biochemical response to cure in tumor-induced osteomalacia. *J. Bone Miner. Res*. 2013; 28 (6): 1386–1398. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1881>
13. Minisola S., Fukumoto S., Xia W. et al. Tumor-induced osteomalacia: a comprehensive review. *Endocrine Rev*. 2023; 44 (2): 323–353. <https://doi.org/10.1210/endrev/bnac026>
14. Гребенникова Т.А., Умярова Д.Ш., Слащук К.Ю., Дегтярев М.В., Родионова С.С., Румянцев П.О., Белая Ж.Е. Фосфопеническая остеомалия опухолевого генеза: клинический случай. *Остеопороз и остеопатии*. 2018; 21 (4): 24–28. <https://doi.org/10.14341/osteo10264>



- Grebennikova T.A., Umiarova D.Sh., Slashchuk K.Y. et al. Tumor-induced osteomalacia: a clinical case report. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2018; 21 (4): 24–28. <https://doi.org/10.14341/osteo10264> (In Russian)
15. Broski S.M., Folpe A.L., Wenger D.E. Imaging features of phosphaturic mesenchymal tumors. *Skeletal. Radiol.* 2019; 48 (1): 119–127. <https://doi.org/10.1007/s00256-018-3014-5>
 16. Liu Y., He H., Zhang C. et al. Phosphaturic Mesenchymal Tumors: Rethinking the Clinical Diagnosis and Surgical Treatment. *J. Clin. Med.* 2022; 12 (1): 252. <https://doi.org/10.3390/jcm12010252>
 17. Folpe A.L. Phosphaturic mesenchymal tumors: A review and update. *Semin. Diagn. Pathol.* 2019; 36 (4): 260–268. <https://doi.org/10.1053/j.semdp.2019.07.002>
 18. Richardson A.L., Richardson O.K. Phosphaturic mesenchymal tumor: case report. *Radiol. Case Rep.* 2019; 14 (12): 1518–1524. <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2019.09.027>
 19. Ho C.L. Ga68-DOTA peptide PET/CT to detect occult mesenchymal tumor-inducing osteomalacia: a case series of three patients. *Nucl. Med. Mol. Imaging.* 2015; 49 (3): 231–236. <https://doi.org/10.1007/s13139-015-0328-2>
 20. Kumar R., Folpe A.L., Mullan B.P. Tumor-induced osteomalacia. *Transl. Endocrinol. Metab.* 2015; 7(3): 1–24.
 21. Benson J.C., Trejo-Lopez J.A., Nassiri A.M. et al. Phosphaturic mesenchymal tumor. *Am. J. Neuroradiol.* 2022; 43 (6): 817–822. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A7513>
 22. Broski S.M., Folpe A.L., Wenger D.E. Imaging features of phosphaturic mesenchymal tumors. *Skeletal. Radiol.* 2019; 48 (1): 119–127. <https://doi.org/10.1007/s00256-018-3014-5>
 23. Nakanishi K., Sakai M., Tanaka H. et al. Whole-body MR imaging in detecting phosphaturic mesenchymal tumor (PMT) in tumor-induced hypophosphatemic osteomalacia. *Magn. Reson. Med. Sci.* 2013; 12 (1): 47–52.
 24. Shi Z., Deng Y., Li X. et al. CT and MR imaging features in phosphaturic mesenchymal tumor-mixed connective tissue: a case report. *Oncol. Lett.* 2018; 15 (4): 4970–4978. <https://doi.org/10.3892/ol.2018.7945>
 25. Jan de Beur S.M., Minisola S., Xia W.B. et al. Global guidance for the recognition, diagnosis, and management of tumor-induced osteomalacia. *J. Internal Med.* 2023; 293 (3): 309–328. <https://doi.org/10.1111/joim.13593>
 26. El-Maouche D., Sadowski S.M., Papadakis G.Z. et al. 68Ga-DOTATATE for tumor localization in tumor-induced osteomalacia. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2016; 101 (10): 3575–3581. <https://doi.org/10.1210/jc.2016-2052>

Для корреспонденции*: Бурякина Светлана Алексеевна – e-mail: sburyakina@yandex.ru

Бурякина Светлана Алексеевна – канд. мед. наук, врач-рентгенолог референс-центра лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9065-7791>. E-mail: sburyakina@yandex.ru

Гронская Софья Александровна – аспирант отделения остеопороза и остеопатий, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной онкоэндокринологии ФГБУ “НМИЦ эндокринологии” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-7055-2407>

Тарбаева Наталья Викторовна – канд. мед. наук, заведующая референс-центром лучевой диагностики ФГБУ “НМИЦ эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7965-9454>. E-mail: Ntarbaeva@inbox.ru

Белая Жанна Евгеньевна – доктор мед. наук, профессор, заведующая отделением остеопороза и остеопатии ФГБУ “НМИЦ эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6674-6441>. E-mail: jannabelaya@gmail.com

Мокрышева Наталья Георгиевна – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, директор ФГБУ “НМИЦ эндокринологии” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9717-9742>. E-mail: nmic.endo@endocrincentr.ru

Contact*: Svetlana A. Buryakina – e-mail: sburyakina@yandex.ru

Svetlana A. Buryakina – Cand. of Sci. (Med.), radiologist of the department of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging, Endocrinology Research Centre, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9065-7791>. E-mail: sburyakina@yandex.ru

Sofia A. Gronskaia – graduate student of the Department of osteoporosis and osteopathy; Junior Researcher, Laboratory of Molecular Oncoendocrinology of Endocrinology Research Centre, Moscow. <http://orcid.org/0000-0001-7055-2407>

Natalia V. Tarbaeva – Cand. of Sci. (Med.), Head of the department of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging, Endocrinology Research Centre, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7965-9454>. E-mail: Ntarbaeva@inbox.ru

Zhanna E. Belaya – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of osteoporosis and osteopathy of Endocrinology Research Centre, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6674-6441>. E-mail: jannabelaya@gmail.com

Natalia G. Mokrysheva – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, director of Endocrinology Research Centre, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9717-9742>. E-mail: nmic.endo@endocrincentr.ru



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1533>

Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике липом и липосарком мягких тканей

© Нуднов Н.В.^{1,2}, Харченко Н.В.², Аксенова С.П.^{1,2*},
Уразов А.В.², Солодкий В.А.¹, Каприн А.Д.^{2,3}

¹ ФГБУ "Российский научный центр рентгенодиагностики" Минздрава России;
117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы" Минобрнауки России;
117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

³ ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр радиологии" Минздрава России;
125284 Москва, 2-й Боткинский проезд, д. 3, Российская Федерация

Введение. За последние 5 лет заболеваемость липосаркомами мягких тканей, включая их локализацию в области конечностей, остается на прежнем уровне и составляет 1 случай на 100 тыс. человек в год. Несмотря на это, липосаркомы отличаются высоким риском рецидивирования и метастазирования, что обуславливает необходимость мультидисциплинарного подхода к их лечению. Диагностика данных злокачественных новообразований сохраняет свою сложность из-за их морфологического разнообразия и выраженного сходства с доброкачественными липомами, даже в условиях совершенствования методов лучевой визуализации.

Цель исследования: выявить семиотические характеристики липом и липосарком по данным мультипараметрической магнитно-резонансной томографии (МРТ), позволяющие дифференцировать данные гистологические типы опухолей между собой.

Материал и методы. В исследование было включено 75 пациентов с гистологически верифицированными липоматозными опухолями мягких тканей (28 мужчин и 47 женщин) в возрасте от 30 до 82 лет (средний возраст 58 лет). Всем пациентам проводилась мультипараметрическая МРТ мягких тканей до начала лечения на томографе с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл.

Результаты. В исследование включены 32 пациента с гистологически верифицированной липосаркомой и 43 пациента с липомой мягких тканей. Морфологически липосаркомы были представлены следующими типами: атипичная липоматозная опухоль (ALT/WDLS), дедифференцированная липосаркома (DDLPS), миксоидная липосаркома (MLPS), плеоморфная липосаркома (PLPS). В исследовании выявлен ряд МР-критериев, отличающих липомы и липосаркомы между собой (форма опухоли, расположение опухоли относительно компартмента, количество и толщина перегородок, наличие солидной ткани, МР-сигнал на импульсной последовательности с подавлением сигнала от жировой ткани ($p < 0,05$)).

Заключение. МРТ позволяет не только выявить липоматозные опухоли, но и дифференцировать доброкачественные липомы от злокачественных липосарком на основе их морфологических характеристик. Это делает МРТ незаменимым инструментом в диагностике и планировании лечения таких опухолей.

Ключевые слова: липосаркома; липома; атипичная липоматозная опухоль; магнитно-резонансная томография

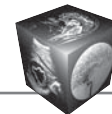
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Соответствие принципам этики: от пациентов получено информированное согласие.

Для цитирования: Нуднов Н.В., Харченко Н.В., Аксенова С.П., Уразов А.В., Солодкий В.А., Каприн А.Д. Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике липом и липосарком мягких тканей. Медицинская визуализация. 2025; 29 (2): 72–87. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1533>

Поступила в редакцию: 18.02.2025. **Принята к печати:** 27.02.2025. **Опубликована online:** 29.04.2025.



Magnetic resonance imaging in differential diagnosis lipomas and liposarcomas of soft tissues

© Nikolay V. Nudnov^{1, 2}, Natalia V. Kharchenko², Svetlana P. Aksenova^{1, 2*},
Alexandr V. Urazov², Vladimir A. Solodkiy¹, Andrey D. Kaprin^{2, 3}

¹ Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University); 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

³ National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; 3, 2nd Botkinsky proezd, Moscow 125284, Russian Federation

Relevance. Over the past 5 years, the incidence of soft tissue liposarcomas, including their localization in the extremities, has remained at the same level and amounts to 1 case per 100 thousand people per year. Despite this, liposarcoma is characterized by a high risk of recurrence and metastasis, which necessitates multidisciplinary treatment for each of them. The diagnosis of these malignant neoplasms remains complex due to their morphological diversity and pronounced similarity to benign lipomas, even with the improvement of radiation imaging methods.

The aim: To identify the semiotic characteristics of lipomas and liposarcomas according to multi-parametric magnetic resonance imaging, allowing these histological types of tumors to be differentiated from each other.

Materials and methods. The study included 75 patients with histologically verified lipomatous tumors of soft tissues (28 men and 47 women) aged from 30 to 82 years (average age 58 years). All patients underwent multiparametric MRI of soft tissues before treatment on a tomograph with a magnetic field strength of 1.5 T.

Results. The study included 32 patients with histologically verified liposarcoma and 43 patients with soft tissue lipoma. Morphologically, liposarcoma was represented by the following types: atypical lipomatous tumor (ALT/WDLS), dedifferentiated liposarcoma (DDLPS), myxoid liposarcoma (MLPS), pleomorphic liposarcoma (PLPS). The study identified a number of MR criteria that distinguish lipomas and liposarcomas from each other (tumor shape, location of the tumor relative to the compartment, number and thickness of septa, presence of solid tissue, MR signal on IP with suppression of the signal from adipose tissue ($p < 0.05$)).

Conclusion. MRI allows not only to detect lipomatous tumors, but also to differentiate benign lipomas from malignant liposarcomas based on their morphological characteristics. This makes MRI an indispensable tool in the diagnosis and treatment planning of such tumors.

Keywords: liposarcoma; lipoma; atypical lipomatous tumor; magnetic resonance imaging

Disclosure. The authors declare no conflicts of interest.

Funding. The study was conducted without sponsorship.

Adherence to ethical standards. Informed consent is obtained of the patients.

For citation: Nudnov N.V., Kharchenko N.V., Aksenova S.P., Urazov A.V., Solodkiy V.A., Kaprin A.D. Magnetic resonance imaging in differential diagnosis lipomas and liposarcomas of soft tissues. *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 72–87. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1533>

Received: 18.02.2025.

Accepted for publication: 27.02.2025.

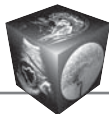
Published online: 29.04.2025.

Введение

Липосаркомы представляют собой злокачественное новообразование, относящееся к группе мезенхимальных опухолей, клетки которых имеют тенденцию превращаться в жировые. По частоте встречаемости занимает 2-е место (после фибросарком) среди всех гистологических подтипов сарком по данным SEERs (программа наблюдения, эпидемиологии и конечных результатов Национального института онкологии США), составляет 20% [1]. Заболеваемость – не более 2,5 случая на 1 млн населения [2]. Частота возникновения липосарком увеличивается с возрастом, достигая

наивысшего уровня у людей 50–60 лет с преобладанием в мужской популяции. Липосаркомы могут поражать любые участки тела, но все же чаще определяются на нижних конечностях, особенно на бедре и в области коленного сустава, а также в забрюшинном пространстве. Вторым по частоте местом локализации этих опухолей является плечо [3].

Анализ статистики по заболеваемости липосаркомами в России с 2019 по 2024 г. свидетельствует, что данный тип злокачественной опухоли встречается в 18% всех случаев сарком мягких тканей.



В среднем в России ежегодно регистрируется около 3200 новых случаев сарком [4]. На ранние стадии (I–II) приходится 56% случаев первично диагностированных новообразований [5, 6].

Некоторые наследственные синдромы, такие как синдром Гарднера, синдром Ли-Фраумени и наследственный множественный липоматоз, повышают риск развития липом и липосарком. Исследования показывают, что пациенты с синдромом Ли-Фраумени имеют повышенный риск развития сарком, включая липосаркомы [7]. Для таких пациентов рекомендуется регулярное наблюдение и использование методов визуализации для раннего выявления опухолей [8].

Одним из воздействующих факторов, приводящих к развитию радиоиндуцированных сарком, является ионизирующее излучение [9]. Кроме того, сочетание лучевой терапии с применением алкилирующих агентов, таких как циклофосфамид, повышает риск развития вторичных злокачественных новообразований мягких тканей [10].

Профилактика и скрининг липом и липосарком – важные аспекты, которые помогают снизить риски развития этих опухолей и своевременно выявить их на ранних стадиях. Однако, в отличие от некоторых других видов опухолей (например, рака молочной железы или колоректального рака), для липом и липосарком не существует стандартизированных программ скрининга [11]. Это связано с относительно низкой распространенностью липосарком и доброкачественным характером большинства липом. Тем не менее существуют научно обоснованные подходы к профилактике и ранней диагностике. Ввиду отсутствия стандартизированных скрининговых протоколов ключевую роль играют:

- молекулярно-генетическое тестирование для групп риска [7]:
 - ◊ герминальные мутации TP53 (синдром Ли-Фраумени) и APC (синдром Гарднера), ассоциированные с повышенным риском сарком;
 - ◊ цитогенетический анализ (FISH) на амплификацию MDM2/CDK4 – патогномоничный маркер атипичных липоматозных опухолей и дедифференцированных липосарком;
- методы визуализации [12]:
 - ◊ МРТ с контрастным усилением для дифференциации липом и липосарком;
 - ◊ компьютерная томография (КТ).

По происхождению липосаркомы злокачественные мезенхимальные новообразования, состоящие из жировой ткани с разным уровнем клеточной атипии и возможными включениями саркоматозных клеток нежировой природы [3].

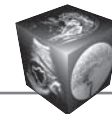
Согласно WHO, выделяется 4 гистологических подтипа липосарком: высокодифференцированная липосаркома (WDLPS)/атипичная липоматозная опухоль (ALT); ALT составляет 40–45% всех липосарком; дедифференцированная липосаркома (DDLPS) – составляет 5%; миксоидная липосаркома (MLPS)/круглоклеточная липосаркома (RCLPS) – 30–35% всех липосарком; плеоморфная липосаркома (PLPS) – менее 15% всех липосарком [14].

Классификация липосарком на 4 основных подтипа отражает различное клиническое поведение, чувствительность к лечению и лежащую в основе биологию, охватываемую этими заболеваниями. Все чаще решения по клиническому ведению и разработка исследовательских терапевтических средств основываются на улучшенном понимании молекулярной патологии, специфичной для подтипа. Высокодифференцированная липосаркома является наиболее распространенным подтипом и связана с вялотекущим поведением, местным рецидивом и нечувствительностью к радиотерапии и химиотерапии [15]. Недифференцированная липосаркома представляет собой в основном прогрессирование высокодифференцированной липосаркомы в более агрессивный подтип, проявляющийся большей частотой метастазирования и соответственно смертностью. Оба этих подтипа характеризуются рецидивирующими амплификациями в 12-й хромосоме. Миксоидная липосаркома характеризуется патогномоничной хромосомной транслокацией, которая приводит к образованию онкогенного белка слияния, тогда как плеоморфная липосаркома является кариотипически сложным и особенно неблагоприятным подтипом [16].

DDLPS, RCLPS и PLPS, как правило, имеют высокую степень злокачественности, и смертность от заболевания составляет 28, 21% и от 35 до 50% соответственно [3].

Помимо клинического обследования, которое позволяет выявить консистенцию, размер, распространенность, положение и топографию опухоли по отношению к рядом расположенным анатомическим структурами, обязательным является применение визуализационных методов диагностики. Наиболее доступным и применимым в клинической практике, в том числе для проведения пункции, является метод ультразвуковой диагностики [17].

В то же время наибольшего пространственного разрешения позволяет добиться применение послойных методик: КТ и МРТ. По данным метаанализа, проведенного М.Р. Wilson и соавт. (2023), суммарная чувствительность и специфичность лучевых методов диагностики для обнаружения липосарком составили 85% (79–90%, 95% ДИ) и



63% (52–72%) соответственно. Наиболее важными прогностическими характеристиками злокачественности, доступными для визуализации, являются: глубокое расположение опухоли в области межфасциальных структур, утолщенные внутриопухолевые перегородки с повышенным накоплением контрастного препарата, а также первично большой размер опухоли (более 10 см). Вышеописанные характеристики продемонстрировали чувствительность $\geq 85\%$. Другие характеристики визуализации, такие как гетерогенная интенсивность сигнала, неровные края опухоли и внутриопухолевые солидные узелки, продемонстрировали более низкую чувствительность в диапазоне от 43 до 65%. Согласованность данных между исследователями варьировала, но являлась удовлетворительной ($k = 0,23\text{--}0,7$) [18].

На настоящий момент МРТ является “золотым стандартом” дифференциальной диагностики липом и липосарком. Исследования подтверждают, что МРТ позволяет выявить неоднородность опухоли, инвазивный рост и другие признаки злокачественности [8, 12, 13].

Несмотря на многочисленные публикации, остаются моменты, требующие дополнительного анализа МР-семиотики липосарком. В связи с этим было инициировано наблюдательное исследование, направленное на более точную дифференциальную диагностику доброкачественных и злокачественных липоматозных опухолей.

Цель исследования: выявить семиотические особенности липом и липосарком по данным мультипараметрической МРТ, позволяющие дифференцировать данные гистологические типы опухолей между собой.

Материал и методы

Настоящее исследование являлось наблюдательным, ретроспективным, мультицентровым, выборочным. Все участники исследования подписали информированное согласие. В исследование было включено 75 пациентов (28 мужчин и 47 женщин) в возрасте от 30 до 82 лет (средний возраст 58 лет) с липоматозными опухолями, из них 32 пациента с морфологически верифицированной липосаркомой мягких тканей (шифр по МКБ С49.2) и 43 пациента с липомой (шифр по МКБ D17, D21), проходивших обследование и лечение в ФГБУ РНЦРР Минздрава России (Центр 1) и МНИОИ им. П.А. Герцена (Центр 2) в период с 2012 по 2024 г. В исследование **включались** пациенты с гистологически верифицированными липомами, липосаркомами, у которых до начала лечения была проведена МРТ. При анализе данных

исключались пациенты, у которых отсутствовала гистологическая верификация опухоли, имелся отличный от липом и липосарком гистологический подтип, было проведено неполное МР-исследование или исследование содержало в себе выраженные артефакты, затрудняющие интерпретацию данных.

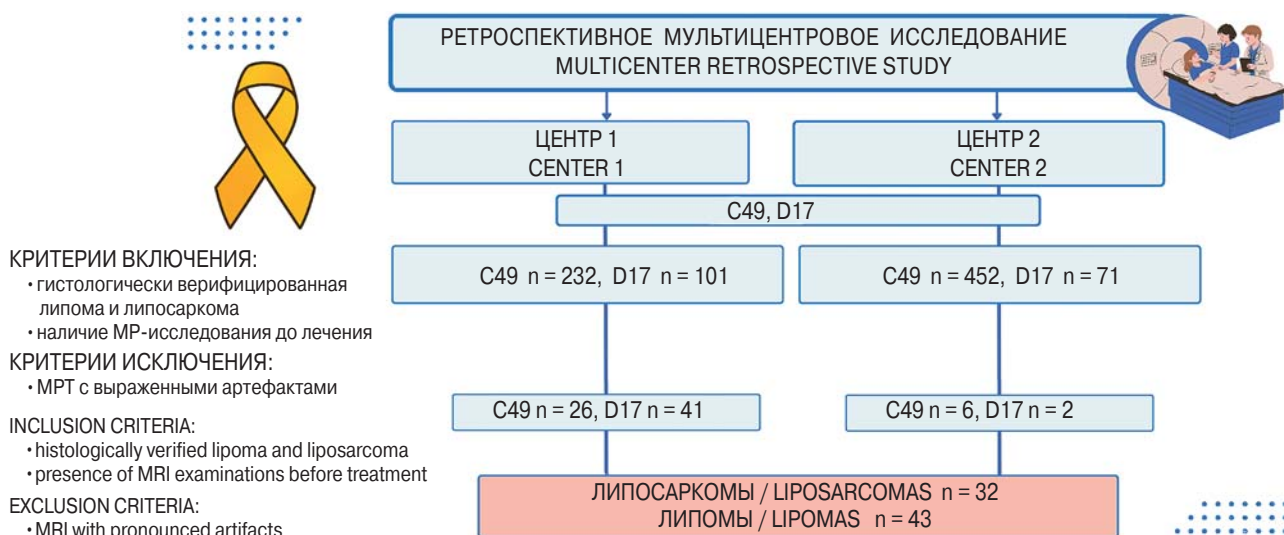
МРТ проводилась на томографах с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл (Canon Vantage Atlas, Siemens Magnetom Aero). Протокол МРТ мягких тканей соответствовал рекомендациям Европейского общества мышечно-скелетных радиологов от 2024 г. (European Society of Musculoskeletal Radiology, ESSR) [19]. Протокол МР-исследования включал в себя проведение T2ВИ, T1ВИ, импульсной последовательности (ИП) с подавлением сигнала от жировой ткани (T1ВИ fat sat, T2 fat sat, STIR, DIXON (выбор ИП зависел от вендора томографа, наличия металла в зоне сканирования и окончательно принимался лечащим врачом с учетом анамнеза пациента и направления лечащего врача), диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) с b-фактором взвешенности 8000–1000 мм²/с и T1fat sat с контрастным усилением солями гадолиния. В ряде случаев для наилучшей визуализации структуры опухоли мягких тканей проводились исследования с косой ориентацией срезов для лучшей визуализации анатомопографических взаимоотношений с сосудами. Дизайн исследования представлен на рис. 1.

Наряду с клиническими характеристиками больных (возраст, пол, локализация опухоли, гистологический диагноз) ретроспективно регистрировались параметры МРТ: размер, форма опухоли, расположение опухоли относительно кожного покрова и компартмента конечности, характеристика МР-сигнала на T2-, T1ВИ и ИП с подавлением сигнала от жировой ткани, количество и толщина внутриопухолевых перегородок, наличие солидного компонента. С учетом преобладания овоидной формы опухоли (61/75) для расчета объема была применена формула расчета объема эллипса:

$$V = 4/3 \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot c,$$

где a, b, c – полуоси эллипса.

База данных создавалась в программе Excel (Microsoft, США). Для сравнения пропорций в двух независимых группах проводился расчет критерия Пирсона χ^2 , для сравнения в выборках при наличии более двух пропорций применялся критерий χ^2 . Для выявления статистически значимых различий объема липом и липосарком использовался критерий Манна–Уитни. Порог значимости устанавливался на уровне 0,05. Для расчета статисти-

**Рис. 1.** Дизайн исследования.**Fig. 1.** Study design.

ческих показателей применялось программное обеспечение на сайте <https://medstatistic.ru/>.

Результаты исследования

В исследование было включено 75 пациентов с липоидными опухолями мягких тканей. На долю липом пришлось 57,3% (43/75) наблюдений, липосарком – 42,7% (32/75). Распределение пациентов в зависимости от гистологического подтипа опухоли представлено в табл. 1.

По данным проведенного исследования выявлены достоверные отличия между полом у пациентов с липомами и липосаркомами. Так, в исследуемой выборке липомы преобладали у женщин ($p < 0,05$). Также получены достоверные отличия

в локализации липоидных опухолей мягких тканей. Как видно из табл. 2, липосаркомы чаще поражали нижние конечности (23/32) – 72% ($p < 0,05$). Липомы в равной степени встречались во всех анализируемых отделах. Также стоит отметить различия в форме опухоли: неправильная форма была признаком злокачественности, в то время как овоидная форма встречалась в равной степени во всех липоидных опухолях. Самым значимым в исследовании было нахождение статистически достоверной разницы показателей количества и толщины перегородок. Выявлено, что большее количество перегородок и большая толщина характерны для липосарком ($p < 0,05$). Также наличие солидной ткани в опухоли с рестрикцией диффузии и повышен-

Таблица 1. Распределение пациентов в зависимости от гистологического типа опухоли**Table 1.** Distribution of patients depending on histological type of tumor

Гистологический диагноз Histological diagnosis	Подтип опухоли Tumor subtype	Количество пациентов Number of patients
Липома / Lipoma		43
Липосаркома Liposarcoma	Атипичная липоматозная опухоль Atypical lipomatous tumor (ALT/WDLS)	3
	Дедифференцированная липосаркома Dedifferentiated liposarcoma (DDLPS)	5
	Миксоидная липосаркома Muxoid liposarcoma (MLPS)	10
	Плеоморфная липосаркома Pleomorphic liposarcoma (PLPS)	4
	Не уточнен (none)	10
Всего / total		75

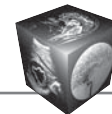
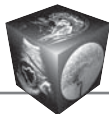


Таблица 2. Результаты исследования
Table 2. Study results

	Липомы Lipoma	Липосаркомы Liposarcoma	p-value
Общее количество / Total quantity, n	43	32	p < 0.05
Мужчины / Man, n	11	17	
Женщины / Woman, n	32	15	
Возраст / Age			
<50 лет / years	17	9	p > 0.05
>50 лет / years	26	23	
Локализация / Localization			
Голова/шея / Head/Neck	3	0	p < 0.001
Туловище (ГК и ОБП) / Torso	14	1	
Верхний плечевой пояс / Upper shoulder girdle	6	1	
Малый таз (ягодичная область) / Pelvis	7	5	
Нижние конечности / Lower extremities	13	25	
Сторона поражения / Defeat party			
Правая / Right	22	9	p > 0.05
Левая / Left	21	23	
Расположение опухоли относительно кожи / Location of tumor relative to skin			
Поверхностное / Superficial	10	5	p > 0.05
Глубокое / Profound	33	27	
Расположение опухоли относительно компартментов / Tumor location relative to compartments			
Внутри компартмента / Inside the compartment	35	10	p < 0.05
Между компартментами / Between compartments	8	22	
Форма / Forms			
Овоидная / Ovoid	41	20	p < 0.05
Неправильная / Irregular	2	12	
Объем / Volum			
<100 см ³ / см ³	22	13	p > 0.05
>100 см ³ / см ³	21	19	
MP-сигнал на T2ВИ / MR signal on T2WI			
Гипоинтенсивный / Hypointense	2	3	p = 0.073
Изоинтенсивный / Isointense	11	2	
Гиперинтенсивный / Hyperintense	29	27	
MP-сигнал на T1ВИ / MR signal on T1WI			
Гипоинтенсивный / Hypointense	7	11	p = 0.168
Изоинтенсивный / Isointense	12	8	
Гиперинтенсивный / Hyperintense	23	12	
MP-сигнал на ИП с подавлением сигнала от жировой ткани MR signal on the IP with suppression of the signal from adipose tissue			
Гипоинтенсивный / Hypointense	10	6	p < 0.001
Изоинтенсивный / Isointense	22	2	
Гиперинтенсивный / Hyperintense	11	24	
Количество перегородок / Number of septa			
<3	28	6	p < 0.001
От 3 до 6 / From 3 to 6	9	11	
>6	6	15	
Толщина перегородок / Thickness of septa			
<2 мм/mm	36	12	p < 0.05
>2 мм/mm	7	20	
Солидная ткань / Solid component			
Есть / Yes	4	24	p < 0.05
Нет / No	39	8	



ным накоплением парамагнетика являлось признаком малигнизации ($p < 0,05$). В исследовании получена разница между локализацией опухоли относительно компартмента: липосаркомы чаще локализовались между компартментами ($p < 0,05$).

Не было выявлено статистически достоверных различий между показателями: возраст пациента, сторона поражения, расположение опухоли относительно кожного покрова, интенсивность МР-сигнала на T2-, T1ВИ ($p > 0,05$).

Результаты статистического анализа с применением U-критерия Манна–Уитни ($U = 833$) не выявили достоверных различий в объемах образований между группами пациентов с липомами и липосаркомами. Полученное значение значительно превышает критические пороги как для уровня значимости 0,01 ($U_{кр1} = 470$), так и для 0,05 ($U_{кр2} = 533$), что свидетельствует об отсутствии статистически значимых различий по исследуемому параметру.

МР-семиотика липом

В исследование включено 43 пациента с гистологически верифицированными липомами мягких тканей. Липомы в большинстве случаев характеризовались наличием капсулы (42/43), отграничивающей ее от прилежащих структур: подкожно-жировой клетчатки, фасций и мышц. В единичном наблюдении была выявлена бескапсульная липома в мягких тканях наружной поверхности верхней трети левого бедра. Трудности дифференцировки контуров от прилежащей жировой клетчатки были решены путем предварительной разметки опухолей перед началом исследования с помощью МР-контрастных желатиновых капсул, фиксированных к границам опухоли при пальпации области интереса. По нашим данным в липомах имелись единичные внутриопухолевые перегородки, их количество не превышало 3 у большинства исследуемых – 65,1% (28/43). Толщина перегородок до 2 мм преобладала – 83,7% (36/43). При этом в перегородках не выявлялась рестрикция диффузии, однако накопление парамагнетика присутствовало (рис. 2). Следует отметить, что у 4 пациентов отмечалась визуализация солидного компонента, что не типично для доброкачественных образований.

МР-семиотика атипических липоматозных опухолей (высокодифференцированных липосарком, ALT/WDLS grade 1)

При анализе пациентов с атипической липоматозной опухолью на изображениях выявлялись образования с жировыми сигнальными характеристиками, часто с неомогенным МР-сигналом,

с наличием множественных перегородок и некрупных округлых включений солидного компонента, по типу неравномерно утолщенных септ, однако жировое содержимое преобладало (рис. 3). В то же время, в отличие от липом, при ALT регистрировалась рестрикция диффузии в септах. Накопление парамагнетика в целом было схожим с таковым при липомах: в капсуле и перегородках, но за счет того, что перегородки толще, визуализация их была лучше.

МР-семиотика дедифференцированных липосарком (DDLPS, grade 3)

Дедифференцированные липосаркомы представляют собой озлокачествленный вариант атипических липоматозных опухолей. В нашей выборке доля DDLS составляла 5/32. МР-сигнал на T2- и T1ВИ был ниже, чем при ALT и липомах, сигнал неоднородный с множественными перегородками. При этом контуры образования были всегда четкие, ровные. Накопление парамагнетика было диффузно повышенным за счет преобладания в структуре опухолевых узлов солидного нежирового компонента, который также характеризовался злокачественностью на ДВИ (рис. 4).

МР-семиотика миксоидных липосарком (MLPS /круглоклеточная липосаркома – RCLPS)

На долю миксоидных липосарком в исследуемой выборке приходилось 10/43 наблюдений. Опухоль была представлена мультикистозными близко расположенными опухолевыми элементами, в которых можно было зафиксировать единую структуру: капсулу, пристеночный солидный компонент, накапливающий парамагнетик преимущественно по всему контуру, и жидкостной компонент без накопления парамагнетика, расположенный в центральных отделах. Жидкостной компонент представлял собой миксоидный матрикс. Участки рестрикции диффузии соответствовали частично зонам пристеночной солидной ткани, иногда неравномерно утолщенным перегородкам (рис. 5).

МР-семиотика плеоморфных липосарком (PLPS)

Плеоморфные липосаркомы представляли собой крупные кистозно-солидные опухоли. При этом, как показано на рис. 6, форма опухолей была неправильная, кистозные полости сливались в единую массу, солидный компонент, расположенный по контуру опухоли (пристеночно), характеризовался рестрикцией диффузии и повышенным накоплением контрастного препарата.

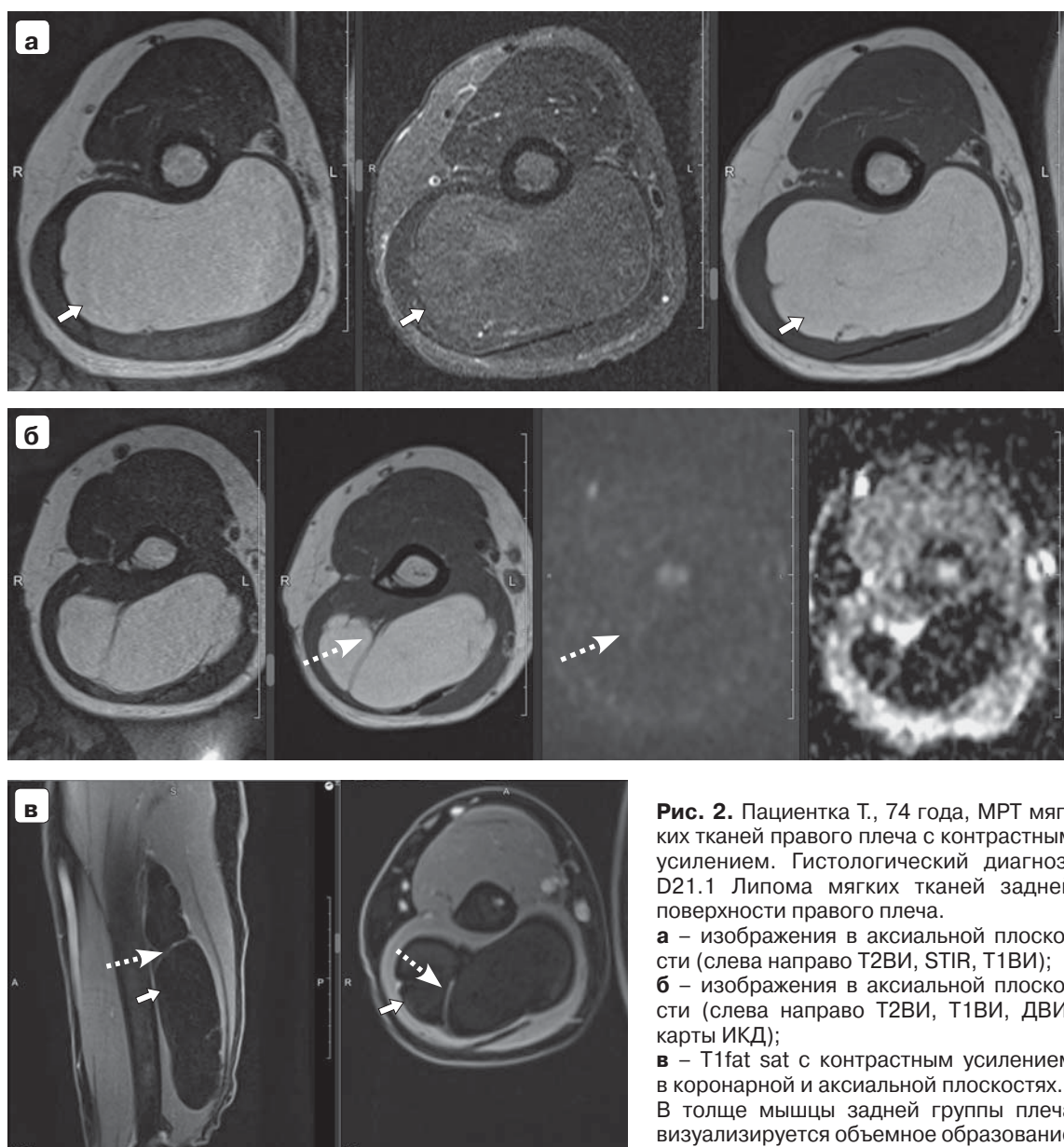
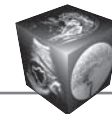


Рис. 2. Пациентка Т., 74 года, МРТ мягких тканей правого плеча с контрастным усилением. Гистологический диагноз: D21.1 Липома мягких тканей задней поверхности правого плеча.

а – изображения в аксиальной плоскости (слева направо T2ВИ, STIR, T1ВИ);
б – изображения в аксиальной плоскости (слева направо T2ВИ, T1ВИ, ДВИ, карты ИКД);

в – T1fat sat с контрастным усилением в коронарной и аксиальной плоскостях. В толще мышцы задней группы плеча визуализируется объемное образование с жировыми сигнальными характеристиками,

с наличием в нижнем и верхнем полюсах единичных неутолщенных перегородок, без признаков рестрикции диффузии. Накопление парамагнетика отмечено по капсуле и в области неутолщенных перегородок. Размеры образования составляют: 163 мм (вертикальный) × 73 мм (поперечный) × 40 мм (переднезадний). Опухоль отмечена сплошной стрелкой, внутритуморозные перегородки отмечены пунктирной стрелкой.

Fig. 2. Patient T., 74 years old, contrast-enhanced MRI of the soft tissues of the right shoulder. Histological diagnosis: D21.1 Soft tissue lipoma of the posterior surface of the right shoulder.

a – images in the axial plane (from left to right T2WI, STIR, T1WI);

б – images in the axial plane (from left to right T2WI, T1WI, DWI, ADC maps);

в – T1fat sat with contrast enhancement in the coronal and axial plane.

In the thickness of the muscle of the posterior group of the shoulder, a space-occupying formation with fatty signal characteristics is visualized, with the presence of single non-thickened septa in the lower and upper poles, without signs of diffusion restriction. Accumulation of paramagnetic material was noted along the capsule and in the area of non-thickened septa. The dimensions of the tumor are: 163 mm (vertical) × 73 mm (transverse) × 40 mm (antero-posterior). The tumor is marked with a solid arrow, intratumoral septa are marked with a dotted arrow.

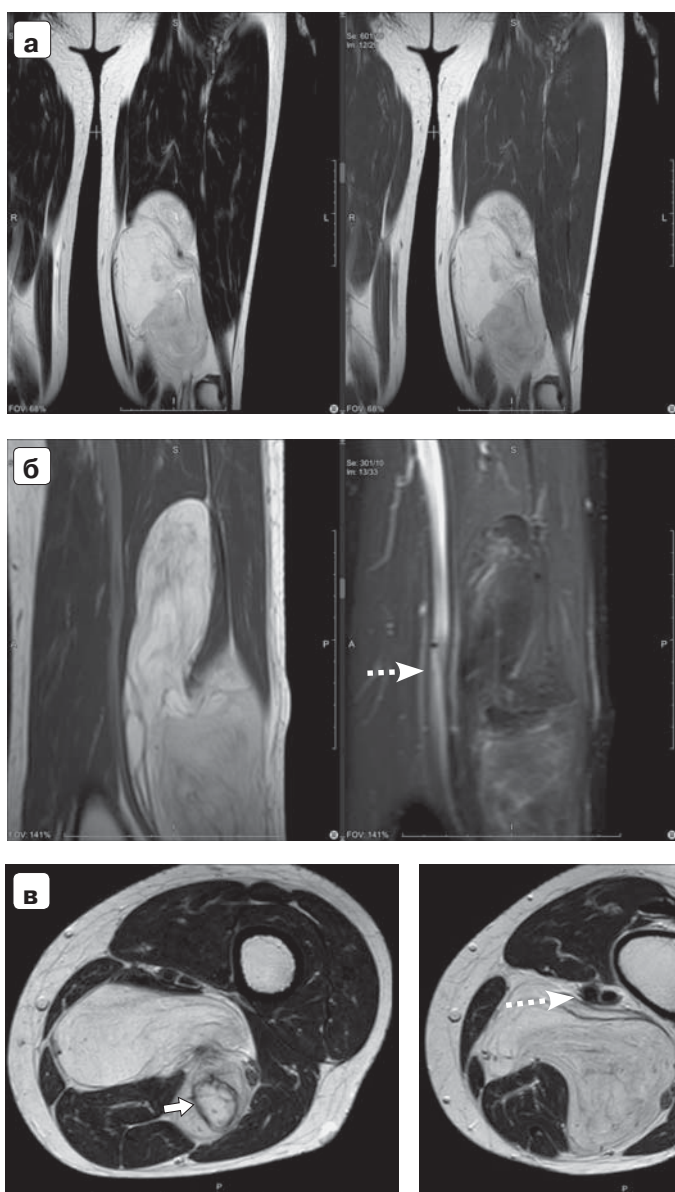
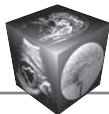


Рис. 3. Пациент А., 50 лет, МРТ мягких тканей левого бедра с контрастным усилением. Гистологический диагноз: атипическая липоматозная опухоль/высокодифференцированная липосаркома, липомоподобный вариант строения, grade 1 (по системе FNCLCC).

а – изображения в коронарной плоскости (слева направо T2ВИ, T1ВИ);
б – изображения в сагиттальной плоскости (слева направо T1ВИ, STIR);
в – серия T2ВИ в аксиальной плоскости. В заднем компартменте левого бедра (нижние 2/3) визуализируется объемное солидное образование с довольно ровными, четкими контурами, раздвигающее окружающие мышечные структуры. Данное образование имеет жировые сигнальные характеристики (гипер на T2- и T1ВИ, гипо на STIR), содержит узловые включения с плотными стенками и жировым компонентом (указано стрелкой). Размеры образования 20 см (вертикальный) × 7,8 см (поперечный) × 7,6 см (переднезадний). В передних отделах к образованию на большем протяжении прилежит бедренный сосудисто-нервный пучок (пунктирная стрелка), ход его прослеживается, данных об инвазии нет.

Fig. 3. Patient A., 52 years old, contrast-enhanced MRI of the soft tissues of the left thigh. Histological diagnosis: atypical lipomatous tumor/well-differentiated liposarcoma, lipoma-like structural variant, Grade 1 (according to the FNCLCC system).

a – images in the coronal plane (from left to right T2WI, T1WI);

б – images in the sagittal plane (from left to right T1WI, STIR);

в – T2WI series in the axial plane.

In the posterior compartment of the left thigh (lower 2/3) a gross solid tumor with fairly even, clear contours is visualized, pushing apart the surrounding muscle structures. Tumor has fatty signal characteristics (hyper on T2WI and T1WI, hypo on STIR), containing nodular inclusions with dense walls and a fatty component (an arrow). The dimensions of the tumor are 20 cm (vertical) × 7.8 cm (transverse) × 7.6 cm (antero-posterior). In the anterior sections, the femoral neurovascular bundle (dotted arrow) is adjacent to the formation over a greater extent, its course can be traced, there is no evidence of invasion.

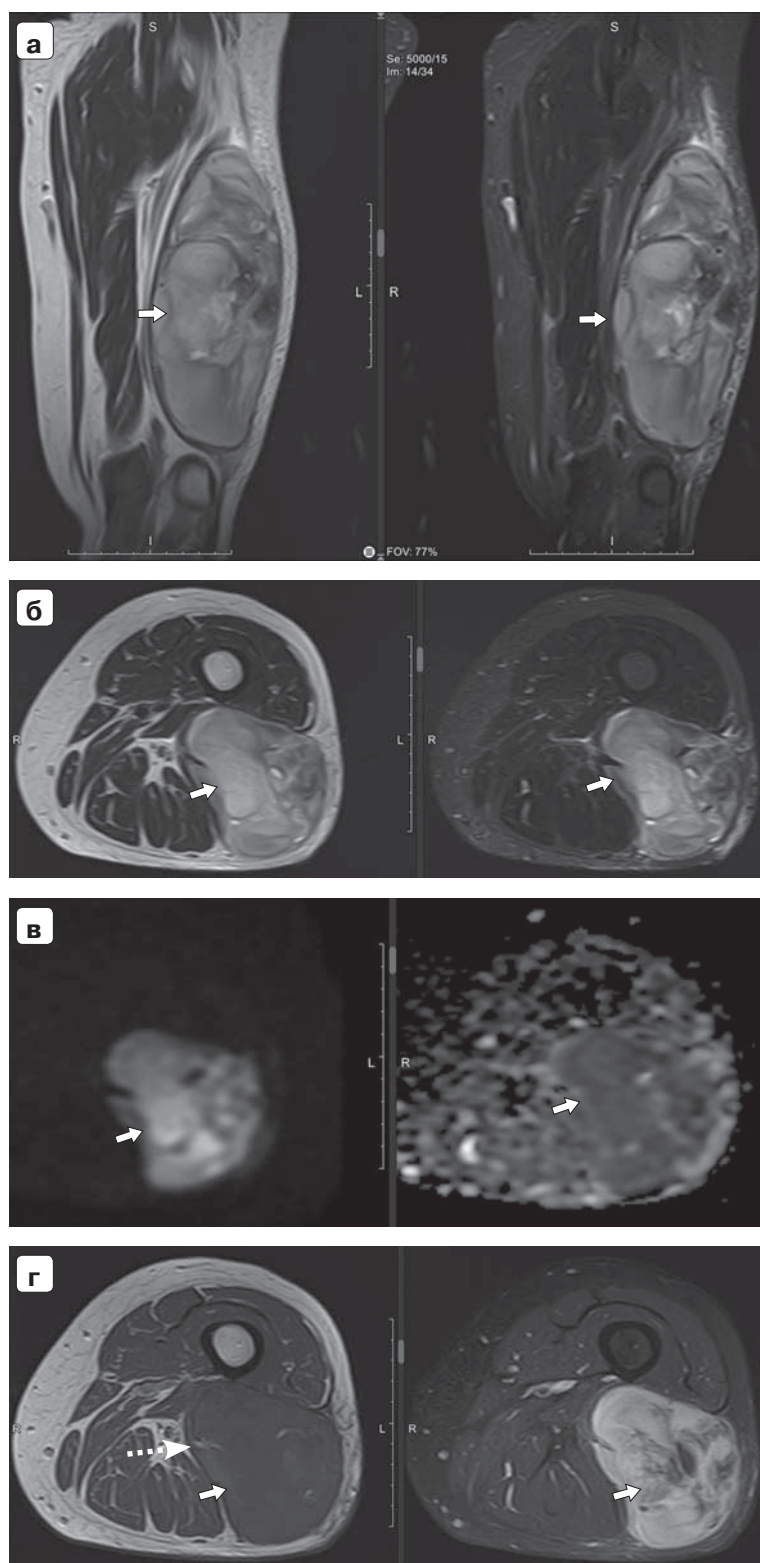
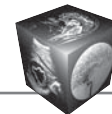


Рис. 4. Пациент П., 70 лет, МРТ мягких тканей левого бедра с контрастным усилением. Гистологический диагноз: дедифференцированная липосаркома 3-й степени злокачественности (по системе FNCLCC).

а – изображения в коронарной плоскости (слева направо T2ВИ, STIR);

б – изображения в аксиальной плоскости (слева направо T2ВИ, STIR);

в – изображения в аксиальной плоскости (слева направо ДВИ, карта ИКД);

г – изображения в аксиальной плоскости (слева направо T1ВИ, T1fat sat +c).

В заднем компартменте левого бедра, раздвигая мышцы, визуализируется неоднородной структуры солидная опухоль с ровными четкими контурами (стрелка), с признаками рестрикции диффузии и повышенного накопления парамагнетика. В солидном матриксе визуализируются прослойки жировой ткани (пунктирная стрелка).

Fig. 4. Patient P., 70 years old, MRI of the soft tissues of the left thigh with contrast enhancement. Histological diagnosis: Dedifferentiated liposarcoma, grade 3 malignancy (according to the FNCLCC system).

a – images in the coronal plane (from left to right T2WI, STIR);

б – images in the axial plane (from left to right T2WI, STIR);

в – images in the axial plane (from left to right DWI, ADC map);

г – images in the axial plane (from left to right T1WI, T1fat sat +c).

In the posterior compartment of the left thigh, moving the muscles apart, a solid tumor of a heterogeneous structure with smooth, clear contours, with signs of diffusion restriction and increased accumulation of paramagnetic substances is visualized (arrow). Layers of adipose tissue are visualized in a solid matrix (dotted arrow).

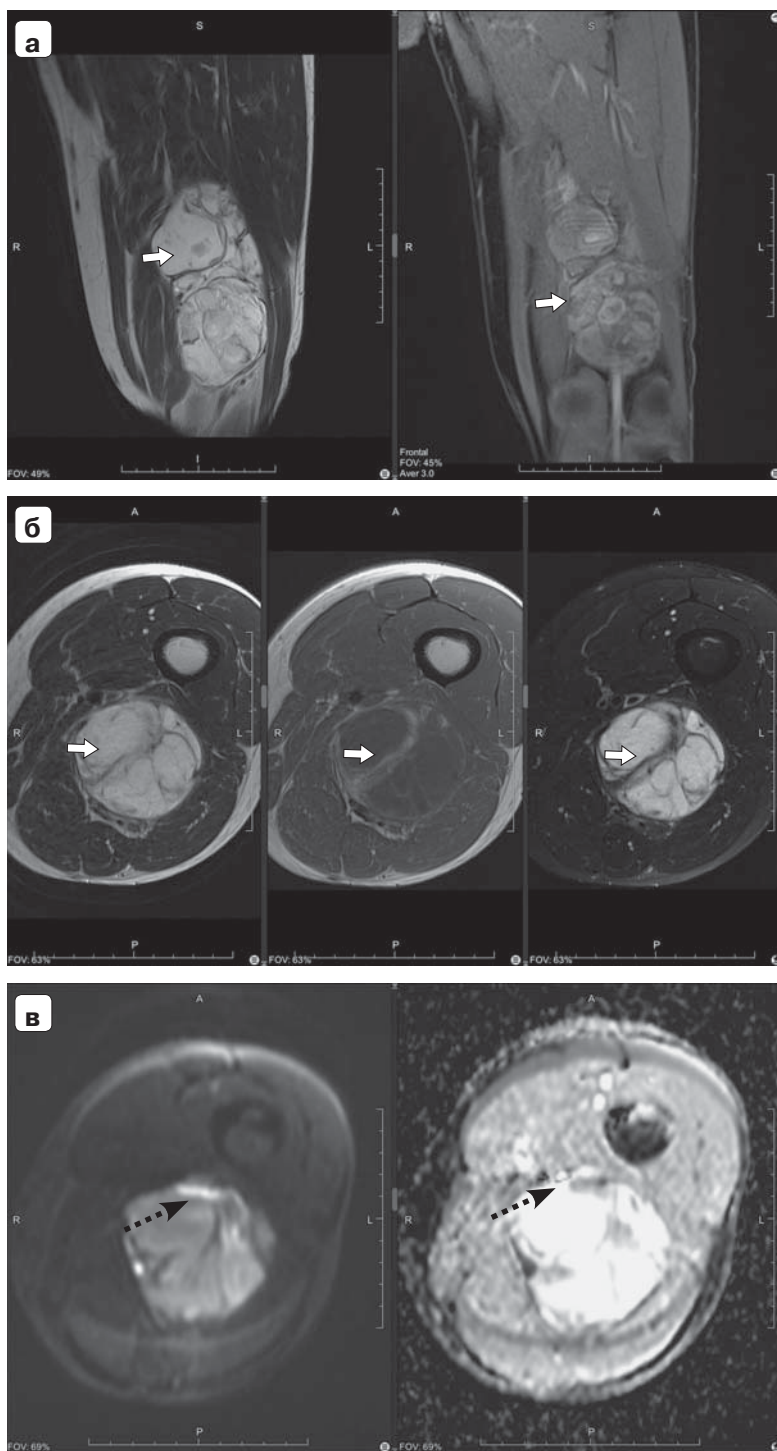
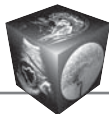


Рис. 5. Пациент П., 70 лет, МРТ мягких тканей левого бедра с контрастным усилением. Гистологический диагноз: миксоидная липосаркома 3-й степени злокачественности (по системе FNCLCC).

а – изображения в коронарной плоскости (слева направо T2ВИ, T1Fat sat +c);

б – изображения в аксиальной плоскости (слева направо T2ВИ, T1ВИ, STIR);

в – изображения в аксиальной плоскости (слева направо ДВИ, карта ИКД).

В мышцах заднего компартмента левого бедра определяется гетерогенной структуры многоузловая опухоль с наличием солидного компонента с повышенным накоплением парамагнетика (стрелка) и рестрикцией диффузии (пунктирная стрелка) и центрального кистозного компонента без накопления контрастного препарата.

Fig. 5. Patient P., 70 years old, MRI of the soft tissues of the left thigh with contrast enhancement. Histological diagnosis: Myxoid liposarcoma, grade 3 malignancy (according to the FNCLCC system).

a – images in the coronal plane (from left to right T2WI, T1Fat sat +c);

б – images in the axial plane (from left to right T2WI, T1WI, STIR);

в – images in the axial plane (from left to right DWI, ADC map).

In the muscles of the posterior compartment of the left thigh, a heterogeneous structure of a multinodular tumor is determined with the presence of a solid component with increased accumulation of paramagnetic (arrow) and diffusion restriction (dotted arrow) and a central cystic component without accumulation of a contrast agent.

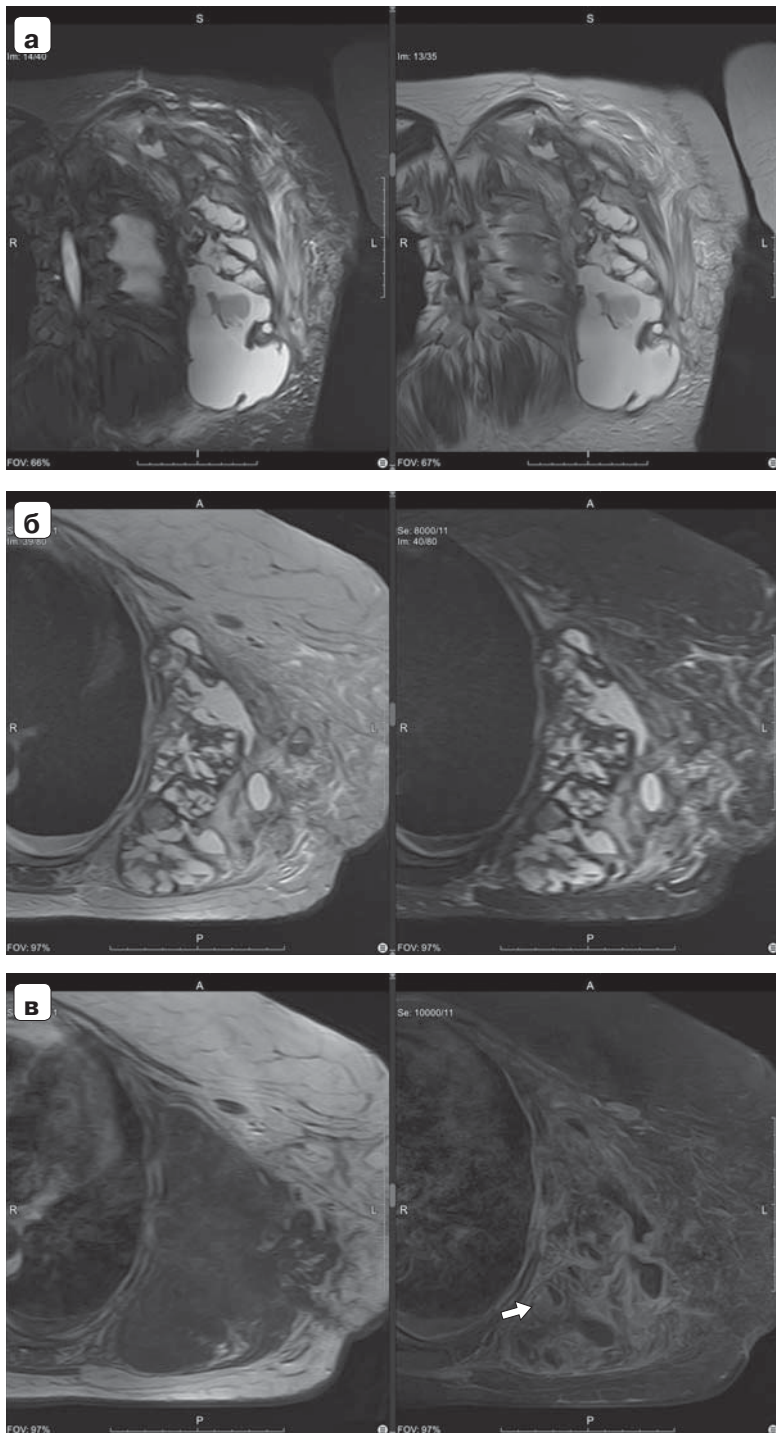


Рис. 6. Пациент Ш., 50 лет, МРТ мягких тканей спины с контрастным усилением. Гистологический диагноз: плеоморфная липосаркома 3-й степени злокачественности (по системе FNCLCC).

а – изображения в коронарной плоскости (слева направо T2ВИ, STIR);

б – изображения в аксиальной плоскости (слева направо T2ВИ, STIR);

в – изображения в аксиальной плоскости (слева направо T1ВИ, T1FS + C).

В мягких тканях левой боковой стенки грудной клетки, в тканях спины визуализируется многоузловое кистозно-солидное образование. Солидный компонент с признаками повышенного накопления парамагнетика (стрелка).

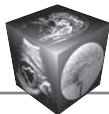
Fig. 6. Patient Sh., 50 years old, MRI of the soft tissues of the back with contrast enhancement. Histological diagnosis: Pleomorphic liposarcoma, 3 degrees of malignancy (according to the FNCLCC system).

a – images in the coronal plane (from left to right T2WI, STIR);

б – images in the axial plane (from left to right T2WI, STIR);

в – images in the axial plane (from left to right T1WI, T1FS + C).

A multinodular cystic-solid tumor is visualized in the soft tissues of the left lateral chest wall and in the tissues of the back. A solid component with signs of increased paramagnetic accumulation (arrow).



Обсуждение

Основной диагностической проблемой является выявление различий между липомами и атипическими липоматозными опухолями, очень схожими по МР-семиотике, исходя из представленной в результатах картины. Липомы и атипичные липоматозные опухоли имели жировые сигнальные характеристики: высокий МР-сигнал как на T2ВИ, так и на T1ВИ, при этом на ИП с подавлением сигнала от жировой ткани характеризовались однородно или умеренно неоднородно сниженным МР-сигналом. Многие авторы разделяют трудности диагностики ALT и липомы [20]. Границы опухоли при ALT и доброкачественной липоме почти во всех случаях четко очерчены и гладкие. С.М. Gaskin и С.А. Helms проанализировали данные МРТ у пациентов с опухолью адипоцитного происхождения, по их данным ALT характеризуются высокой интенсивностью МР-сигнала на T1ВИ и на T2ВИ МРТ с неоднородной структурой и перегородками толщиной более 2 мм. Данные показатели имели чувствительность 100% и специфичность 86% [21]. В другом исследовании также сообщалось, что у 85,1% пациентов с ALT в структуре опухоли имелись множественные перегородки толщиной 2 мм [22]. Отмечено, что перегородки в ALT интенсивно накапливают контрастный препарат при анализе T1FS [23]. ALT с поверхностным расположением опухоли также демонстрирует аналогичные характеристики при МРТ [24]. Мы также подтверждаем результаты ранее проведенных исследований, показывая статистически достоверную разницу между количеством перегородок в липомах и липосаркомах, а также указывая на важность оценки толщины и характера рестрикции диффузии перегородок.

В литературе отмечено, что контрастное усиление иногда приводит к искажению результатов исследования при дифференциальной диагностике ALT и липом. Глубоко расположенные опухоли проксимальных отделов бедра часто сопровождаются неоднородным подавлением сигнала от жировой ткани, что создает впечатление неоднородности структуры опухоли и приводит к ложноположительному результату. С другой стороны, МРТ с контрастным усилением может способствовать уточнению диагноза, если будут зафиксированы множественные контрастнакапливающие септы [25].

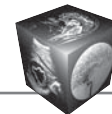
В нашем исследовании получено, что локализация опухоли на нижней конечности более характерна для злокачественной липоматозной опухоли, в то время как доброкачественные опухоли встречались в равной степени на верхней, нижней конечностях и подкожно-жировой клетчатке туловища.

Также нами впервые из исследователей проанализировано расположение опухолей относительно мышечных компартментов (относительно расположения к мышцам, к примеру: передняя, задняя и медиальная группы мышц бедра). Нами получено, что липосаркомы чаще локализовались между компартментами ($p < 0,05$), а именно между задним и медиальным компартментами бедра – задним и передним. Предполагаем, что это может быть связано с расположением ростковых зон в области фасциальных футляров и межмышечных перегородок, где происходит нарушение дифференцировки мезенхимальной ткани. Однако эти рассуждения должны быть проанализированы на большем материале и соотнесены с патоморфологическими данными и анализом процессов генеза опухоли.

ALT и DDLS представляют собой гистологический и поведенческий спектр одного заболевания. ALT очень напоминает жировую ткань зрелого типа, но обычно содержит фиброзные перегородки, имеет клетки с ядерной атипией, неравномерным увеличением жировой ткани и фиброзной стромы. ALT может рецидивировать, но не обладает метастатической способностью. Однако до 10% ALT дедифференцируются в DDLS, которая ведет себя более агрессивно, со значительно более высокой частотой местных рецидивов и метастатическим потенциалом [26, 27]. Нами отмечена различная МР-семиотика на T2- и T1ВИ при анализе липом, ALT и DDLS, в последних в большинстве своем отсутствовал жировой компонент или был представлен в малом объеме, преобладала солидная ткань.

В подтверждение ранее проведенных исследований отмечено, что миксоидные липосаркомы характеризуются умеренно гетерогенным, преимущественно высоким сигналом на T2ВИ и изоинтенсивным на T1ВИ по сравнению со скелетными мышцами, с кружевными/линейными перегородками в структуре жировой ткани [28]. F. El Ouni и соавт. [29] также продемонстрировали, что небольшое количество жировой ткани, создающей “мраморный текстурный рисунок” на T1ВИ, часто встречается при MLS. Визуализация миксоидного матрикса имеет неблагоприятный прогноз [30]. Мы отмечаем наличие жидкостного компонента в солидных опухолях, что соответствует, вероятно, миксоидному матриксу и скоплению серозного содержимого в центральных отделах опухолевых узлов.

Плеоморфный подтип липосарком встречается особенно редко, на его долю приходится менее 5% всех случаев липосаркомы [31]. Гистологически плеоморфная липосаркома напоминает недиф-



ференцированную саркому высокой степени злокачественности, содержащую различное количество плеоморфных липобластов [32]. При анализе литературных данных выявлены единичные описания плеоморфных липосарком, авторами отдельно не выделено их типичной МР-семиотики, что делает наше исследование уникальным в отношении полученных данных.

Заключение

МРТ позволяет не только выявить липоматозные опухоли, но и дифференцировать доброкачественные липомы от злокачественных липосарком на основе их морфологических характеристик. В исследовании выявлен ряд МР-критериев, отличающих липомы и липосаркомы (форма опухоли, количество и толщина перегородок, наличие солидной ткани, МР-сигнал на ИП с подавлением сигнала от жировой ткани, локализация опухоли относительно компартментов). Это делает МРТ незаменимым инструментом в диагностике и планировании лечения липоидных опухолей.

Участие авторов

Нуднов Н.В., Харченко Н.В., Солодкий В.А., Каприн А.Д., Аксенова С.П. – разработка дизайна исследования.

Аксенова С.П., Уразов А.В. – получение данных для анализа, анализ полученных данных, статистическая обработка материала.

Аксенова С.П., Уразов А.В. – написание текста рукописи.

Аксенова С.П., Уразов А.В. – обзор публикаций по теме статьи.

Authors' contribution

Nudnov N.V., Kharchenko N.V., Solodkiy V.A., Kaprin A.D., Aksenova S.P. – development of study design.

Aksenova S.P., Urazov A.V. – obtaining data for analysis, analyzing the data obtained, statistical processing of the material.

Aksenova S.P., Urazov A.V. – writing the manuscript.

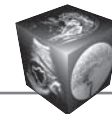
Aksenova S.P., Urazov A.V. – review of publications on the topic of the article.

Список литературы [References]

- Gadgeel S.M., Harlan L.C., Zeruto C.A. et al. Patterns of care in a population based sample of soft tissue sarcoma patients in the United States. *Cancer*. 2009; 115 (12): 2744–2754. <http://doi.org/10.1002/cncr.24307>
- Kindblom L.G., Angervall L., Svendsen P. Liposarcoma: a clinicopathologic, radio-graphic and prognostic study. *Acta Pathol. Microbiol. Scand. (Suppl.)* 1975; 253: 1–71.
- Феденко А.А. Липосаркомы: морфологические подтипы, факторы прогноза и терапевтические опции. *Современная онкология*. 2016; 18 (3): 52–58. http://doi.org/10.26442/1815-1434_2016.3.52-58
Fedenko A.A. Liposarcomas: morphological subtypes, prognostic factors and therapeutic options. *Journal of Modern Oncology*. 2016; 18 (3): 52–58. http://doi.org/10.26442/1815-1434_2016.3.52-58 (In Russian)
- Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, 2022. 239 с. ISBN 978-5-85502-283-4
The state of oncological care for the Russian population in 2022 / Eds by A.D. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. Moscow: P.A. Herzen Moscow Institute of Medical Sciences – branch of the Federal State Budgetary Institution “NMITS of Radiology” of the Ministry of Health of Russia, 2022. 239 p. ISBN 978-5-85502-283-4 (In Russian)
- Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность) / Под ред. А.Д. Каприна и др. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, 2024. 276 с. ISBN 978-5-85502-298-8
Malignant neoplasms in Russia in 2023 (morbidity and mortality) / Eds by A.D. Kaprin et al. Moscow: P.A. Herzen Moscow Medical Research Institute – branch of the Federal State Budgetary Institution “NMITS of Radiology” of the Ministry of Health of Russia, 2024. 276 p. ISBN 978-5-85502-298-8 (In Russian)
- Каприн А.Д., Алиев М.Д., Феденко А.А. (ред.). Саркомы мягких тканей. М.: Изд-во Ленанд, 2024. 320 с.
Kaprin A.D., Aliev M.D., Fedenko A.A. (eds). Soft tissue sarcomas. Moscow: Lenand Publishing House, 2024. 320 p. (In Russian)
- Brockman K.J., Thompson M.B., Mirabello L. et al. Characterization of sarcoma topography in Li-Fraumeni syndrome. *Front. Oncol.* 2024; 14: 1415636. <http://doi.org/10.3389/fonc.2024.1415636>
- von Mehren M., Kane J.M., Agulnik M. et al. Soft Tissue Sarcoma, Version 2.2022, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J. Natl. Compr. Canc. Netw.* 2022; 20 (7): 815–833. <http://doi.org/10.6004/jnccn.2022.0035>
- Бирюков А.П., Иванов В.К., Максютов М.А., Иванова И.Н. Ионизирующее излучение как фактор риска развития злокачественных новообразований органов пищеварения (научный обзор). *Радиация и риск (Бюллетень НРЭР)*. 2001; 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ioniziruyuschee-izluchenie-kak-faktor-riska-razvitiya-zlokachestvennyh-novoobrazovaniy-organov-pischevareniya-nauchnyy-obzor>
Biryukov A.P., Ivanov V.K., Maksyutov M.A., Ivanova I.N. Ionizing radiation as a risk factor for the development of malignant neoplasms of the digestive system (scientific review). *Radiation and Risk (Bulletin of the NER)*. 2001; 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ioniziruyuschee-izluchenie-kak-faktor-riska-razvitiya-zlokachestvennyh-novoobrazovaniy-organov-pischevareniya-nauchnyy-obzor> (In Russian)
- Соленова Л.Г. Вторые первичные опухоли у онкологических больных: эпидемиология, роль противоопухолевой терапии. *Успехи молекулярной онкологии*. 2016; 3 (3): 30–43. <https://doi.org/10.17650/2313-805X-2016-3-3-30-43>
Solenova L.G. Second primary malignancies in cancer survivors: epidemiology, role of anticancer therapy. *Advances in Molecular Oncology*. 2016; 3 (3): 30–43. <https://doi.org/10.17650/2313-805X-2016-3-3-30-43> (In Russian)



11. Горбунова З.В., Касаманян М.А. Оценка диагностики и лечения липосаркомы. *Молодой ученый*. 2023; 33 (480): 89–91. <https://moluch.ru/archive/480/105434/> Gorbunova Z.V., Kasamanjan M.A. Evaluation of diagnosis and treatment of liposarcoma. *Young Scientist*. 2023; 33 (480): 89–91. <https://moluch.ru/archive/480/105434/> (In Russian)
12. Crombé A., Kind M., Fadli D. et al. Soft-tissue sarcoma in adults: Imaging appearances, pitfalls and diagnostic algorithms. *Diagn. Interv. Imaging*. 2023; 104 (5): 207–220. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2022.12.001>
13. Боберъ Е.Е., Фролова И.Г., Котова О.В., Величко С.А., Чойнзонов Е.Л., Тюкалов Ю.И. МРТ в диагностике и оценке эффективности лечения сарком мягких тканей (обзор литературы). *Сибирский онкологический журнал*. 2016; 15 (2): 69–75. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2016-15-2-69-75> Bober E.E., Frolova I.G., Kotova O.V. et al. Magnetic resonance imaging in diagnosis and assessment of treatment response in soft tissue sarcoma (review of literature). *Siberian Journal of Oncology*. 2016; 15 (2): 69–75. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2016-15-2-69-75> (In Russian)
14. Sbaraglia M., Bellan E., Dei Tos A.P. The 2020 WHO Classification of Soft Tissue Tumours: news and perspectives. *Pathologica*. 2021; 113 (2): 70–84. <https://doi.org/10.32074/1591-951X-213>
15. Nagano S., Yokouchi M., Setoguchi T. et al. Differentiation of lipoma and atypical lipomatous tumor by a scoring system: implication of increased vascularity on pathogenesis of liposarcoma. *BMC Musculoskelet. Disord*. 2015; 16:36. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0491-8>
16. Lee A.T.J., Thway K., Huang P.H., Jones R.L. Clinical and Molecular Spectrum of Liposarcoma. *J. Clin. Oncol*. 2018; 36 (2): 151–159. <https://doi.org/10.1200/JCO.2017.74.9598>
17. Shimamori N., Kishino T., Morii T. et al. Sonographic Appearances of Liposarcoma: Correlations with Pathologic Subtypes. *Ultrasound Med. Biol*. 2019; 45 (9): 2568–2574. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2019.05.020>
18. Wilson M.P., Haidey J., Murad M.H. et al. Diagnostic accuracy of CT and MR features for detecting atypical lipomatous tumors and malignant liposarcomas: a systematic review and meta-analysis. *Eur. Radiol*. 2023; 33 (12): 8605–8616. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09916-2>
19. Noebauer-Huhmann I.M., Vanhoenacker F.M., Vilanova J.C. et al. Soft tissue tumor imaging in adults: European Society of Musculoskeletal Radiology-Guidelines 2023-overview, and primary local imaging: how and where? *Eur. Radiol*. 2024; 34 (7): 4427–4437. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10425-5>
20. Yee E.J., Stewart C.L., Clay M.R., McCarter M.M. Lipoma and Its Doppelganger: The Atypical Lipomatous Tumor/Well-Differentiated Liposarcoma. *Surg. Clin. N. Am*. 2022; 102 (4): 637–656. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2022.04.006>
21. Gaskin C.M., Helms C.A. Lipomas, lipoma variants, and well-differentiated liposarcomas (atypical lipomas): Results of MRI evaluations of 126 consecutive fatty masses. *Am. J. Roentgenol*. 2004; 182 (3): 733–739. <https://doi.org/10.2214/ajr.182.3.1820733>
22. Knebel C., Neumann J., Schwaiger B.J. et al. Differentiating atypical lipomatous tumors from lipomas with magnetic resonance imaging: A comparison with MDM2 gene amplification status. *BMC Cancer*. 2019; 19: 309. <https://doi.org/10.1186/s12885-019-5524-5>
23. Ohguri T., Aoki T., Hisaoka M. et al. Differential diagnosis of benign peripheral lipoma from well-differentiated liposarcoma on MR imaging: Is comparison of margins and internal characteristics useful? *Am. J. Roentgenol*. 2003; 180 (6): 1689–1694. <https://doi.org/10.2214/ajr.180.6.1801689>
24. Mashima E., Sawada Y., Saito-Sasaki N. et al. A Retrospective Study of Superficial Type Atypical Lipomatous Tumor. *Front. Med*. 2020; 7: 609515. <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.609515>
25. Nardo L., Abdelhafez Y.G., Acquafredda F. et al. Qualitative evaluation of MRI features of lipoma and atypical lipomatous tumor: Results from a multicenter study. *Skeletal Radiol*. 2020; 49 (6): 1005–1014. <https://doi.org/10.1007/s00256-020-03372-5>
26. Thway K. Well-differentiated liposarcoma and dedifferentiated liposarcoma: An updated review. *Semin Diagn Pathol*. 2019; 36 (2): 112–121. <https://doi.org/10.1053/j.semdp.2019.02.006>
27. Kilpatrick S.E. Dedifferentiated Liposarcoma: A Comprehensive Historical Review With Proposed Evidence-based Guidelines Regarding a Diagnosis in Need of Further Clarification. *Adv. Anat. Pathol*. 2021; 28(6): 426–438. <https://doi.org/10.1097/PAP.0000000000000314>. PMID: 34326285
28. Saifuddin A., Andrei V., Rajakulasingam R. et al. Magnetic resonance imaging of trunk and extremity myxoid liposarcoma: diagnosis, staging, and response to treatment. *Skeletal. Radiol*. 2021; 50 (10): 1963–1980. <https://doi.org/10.1007/s00256-021-03769-w>
29. El Ouni F., Jemni H., Trabelsi A. et al. Liposarcoma of the extremities: MR imaging features and their correlation with pathologic data. *Orthop. Traumatol. Surg. Res. OTSR*. 2010; 96 (8): 876–883. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2010.05.010>
30. Волков А.Ю., Козлов Н.А., Неред С.Н., Стилиди И.С., Строганова А.М., Архири П.П., Антонова Е.Ю., Привезенцев С.А. Прогностическое значение миксоидного матрикса в забрюшинной высокодифференцированной липосаркоме. *Сибирский онкологический журнал*. 2021; 20 (1): 46–52. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2021-20-1-46-52> Volkov A.Yu., Kozlov N.A., Nered S.N. et al. The prognostic significance of myxoid matrix in retroperitoneal well-differentiated liposarcoma. *Siberian Journal of Oncology*. 2021; 20 (1): 46–52. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2021-20-1-46-52> (In Russian)
31. Terunuma Y., Takahashi K., Doi M. et al. Primary pleomorphic liposarcoma of the liver: a case report and literature review. *Surg. Case Rep*. 2021; 7 (1): 244. <https://doi.org/10.1186/s40792-021-01322-4>
32. Ballhause T.M., Korthaus A., Jahnke M. et al. Lipomatous Tumors: A Comparison of MRI-Reported Diagnosis with Histological Diagnosis. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 12 (5): 1281. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12051281>



Для корреспонденции*: Аксенова Светлана Павловна – e-mail: fabella@mail.ru

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: mailbox@rncrr.rssi.ru

Харченко Наталья Владимировна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5352-492X>

Аксенова Светлана Павловна – канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории рентгенодиагностики научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; ассистент кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>. E-mail: fabella@mail.ru

Уразов Александр Викторович – аспирант кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0009-0004-8226-2449>. E-mail: urazov_av@pfur.ru

Солодкий Владимир Алексеевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заслуженный врач РФ, директор ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>

Каприн Андрей Дмитриевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, генеральный директор ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, директор МНИОИ имени П.А. Герцена – филиала ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, главный внештатный специалист-онколог (ПФО, ЦФО, СКФО, ЛНР, ДНР) Минздрава России; заведующий кафедрой онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-87848415>

Contact*: Svetlana P. Aksenova – e-mail: fabella@mail.ru

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of the Research Department for Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Natalia V. Kharchenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, professor of the Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5352-492X>

Svetlana P. Aksenova – Cand. of Sci. (Med.), research fellow, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Assistant Professor, Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>. E-mail: fabella@mail.ru.

Alexandr V. Urazov – graduate student of the Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0009-0004-8226-2449>. E-mail: urazov_av@pfur.ru

Vladimir A. Solodkiy – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>

Andrey D. Kaprin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Director General of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; Head of the Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-87848415>



Давность переломов костей носа по данным компьютерной томографии в практике судебной экспертизы живых лиц

© Медведева Н.А. *, Серова Н.С.

ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); 119991 Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Российская Федерация

Цель исследования: уточнить рентгенологические критерии установления давности переломов костей носа, опираясь на данные судебно-медицинской экспертизы, выполненной с применением компьютерной томографии (КТ). Особое внимание уделено сравнительному анализу рентгенологических признаков, позволяющих дифференцировать острый перелом от консолидированного повреждения, а также оценке влияния этих данных на объективность судебно-медицинских выводов.

Материал и методы. В исследовании анализировались данные 259 пострадавших с переломами костей носа. Пациенты были обследованы с помощью рентгенографии и КТ с 3D-реконструкцией. Исследования проводились в день поступления, через 10–14 дней, 21 день и 1 мес после травмы. Большинство травм (83,3%) произошли у лиц в возрасте 21–38 лет, чаще у мужчин (82,9%). Бытовые и уличные инциденты стали причиной 79,3% травм, автомобильные происшествия – 15,2%, падения с высоты – 5,5%. Рентгенологические признаки включали состояние мягких тканей, форму и структуру краев перелома, наличие гемосинуса, характер линии просветления между отломками и признаки ремоделирования костной структуры.

Результаты. Анализ КТ-исследований показал, что острые переломы (день или 3–4 дня после травмы) имеют неровные края и заостренные углы, с четкой и контрастной линией просветления до 1 мм. Через 10–14 дней просветление сохраняется, но становится менее четким и контрастным, отек мягких тканей регрессирует. На 20–21-й день появляются признаки формирования костной мозоли: сглаживание краев, припухлость концов отломков и увеличение ширины просветления до более 1 мм. К 4–5-й неделе четко визуализируются костная мозоль, склеротические изменения и локальное снижение минеральной плотности.

Обсуждение. Установление давности механической травмы важно для судебно-медицинской экспертизы. Проблема диагностики давности переломов носа у живых лиц не решена. Традиционная рентгенография не всегда точна, особенно через 21 день после травмы. КТ с 3D-реконструкцией более достоверна, выявляя тонкие изменения в структуре кости и стадию регенерации. КТ различает острые и консолидированные переломы, подтверждая изменения рентгенологических признаков по стадиям репарации. Нормативные акты не учитывают современные методы лучевой диагностики, что приводит к ошибкам. Интеграция КТ повышает точность оценки и объективность выводов, позволяет динамически оценивать изменения, определяя сроки репарации. Рентгенологические признаки переломов коррелируют с физиологическими процессами. Без этих признаков эксперт не может установить связь с недавним воздействием.

Заключение. КТ повышает точность диагностики, дифференцируя острые и консолидированные переломы. Рентгенологические признаки, такие как изменение структуры краев отломков и формирование костной мозоли, коррелируют с физиологическими процессами репарации. Это позволяет более точно датировать травмы, что важно для юридической оценки происшествий. Интеграция КТ в судебно-медицинскую практику улучшает диагностику и методологию исследований. Дальнейшие разработки, включая совершенствование нормативной базы и внедрение количественных методов анализа, перспективны.

Ключевые слова: судебно-медицинская экспертиза; перелом костей носа; давность переломов костей носа; черепно-мозговая травма; лучевая диагностика ЧМТ; судебно-медицинская экспертиза живых лиц

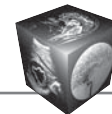
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Медведева Н.А., Серова Н.С. Давность переломов костей носа по данным компьютерной томографии в практике судебной экспертизы живых лиц. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (2): 88–97. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1537>

Поступила в редакцию: 28.02.2025.

Принята к печати: 05.03.2025.

Опубликована online: 29.04.2025.



Prescription of fractures of the bones of the nose according to computed tomography in the practice of forensic examination of living persons

© Natalia A. Medvedeva*, Natalia S. Serova

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, bld. 2, Trubetskaya str., Moscow 119991, Russian Federation

Introduction. To clarify the radiological criteria for determining the prescription of fractures of the bones of the nose, based on the data of a forensic medical examination performed using CT. Special attention is paid to the comparative analysis of X-ray signs that make it possible to differentiate an acute fracture from a consolidated injury, as well as to the assessment of the impact of these data on the objectivity of forensic conclusions.

Materials and methods. The study analyzed data from 259 victims with fractures of the nose bones. The patients were examined using radiography and CT with 3D reconstruction. The studies were conducted on the day of admission, 10–14 days, 21 days and 1 month after the injury. The majority of injuries (83.3%) occurred in people aged 21–38 years, more often in men (82.9%). Domestic and street incidents caused 79.3% of injuries, car accidents – 15.2%, falls from heights – 5.5%. Radiological signs included the condition of the soft tissues, the shape and structure of the fracture edges, the presence of hemosinus, the nature of the line of illumination between the fragments, and signs of bone remodeling.

Results. Analysis of CT scans has shown that acute fractures (one day or 3–4 days after injury) have uneven edges and pointed corners, with a clear and contrasting line of illumination up to 1 mm. After 10–14 days, the illumination persists, but becomes less clear and contrasting, and the soft tissue edema regresses. On days 20–21, signs of callus formation appear: smoothing of the edges, blunting of the ends of the fragments and an increase in the width of the lumen to more than 1 mm. By 4–5 weeks, bone callus, sclerotic changes and a local decrease in mineral density are clearly visualized.

Discussion. Establishing the limitation period of a mechanical injury is important for a forensic medical examination. The problem of diagnosing the prescription of nasal fractures in living persons has not been solved. Traditional radiography is not always accurate, especially 21 days after an injury. CT with 3D reconstruction is more reliable, revealing subtle changes in bone structure and the stage of regeneration. CT distinguishes between acute and consolidated fractures, confirming changes in radiological signs by repair stages. Regulations do not take into account modern methods of radiation diagnostics, which leads to errors. The integration of CT improves the accuracy of the assessment and the objectivity of the conclusions.

CT allows you to dynamically evaluate changes by determining the timing of repair. Radiological signs of fractures correlate with physiological processes. Without these signs, the expert cannot establish a connection with recent exposure.

Conclusion. Computed tomography (CT) improves diagnostic accuracy by differentiating between acute and consolidated fractures. Radiological signs, such as changes in the structure of the edges of fragments and the formation of bone marrow, correlate with the physiological processes of repair. This allows for more accurate dating of injuries, which is important for the legal assessment of incidents. The integration of CT into forensic practice improves the diagnosis and methodology of research. Further developments, including the improvement of the regulatory framework and the introduction of quantitative analysis methods, are promising.

Keywords: forensic medical examination; fracture of the bones of the nose; prescription of fractures of the bones of the nose; traumatic brain injury; radiation diagnosis of TBI; forensic medical examination of living persons

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Medvedeva N.A., Serova N.S. Prescription of fractures of the bones of the nose according to computed tomography in the practice of forensic examination of living persons. *Medical Visualization*.2025; 29 (2): 88–97. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1537>

Received: 28.02.2025.

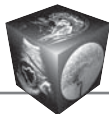
Accepted for publication: 05.03.2025.

Published online: 29.04.2025.

Введение

Переломы костей различной локализации занимают второе место в общей структуре травматизма как в России, так и за рубежом. В судебно-медицинской практике скелетные повреждения являются одной из наиболее значимых категорий

травм, встречающихся при экспертизе пострадавших, подозреваемых и иных лиц. Помимо установления механизма получения перелома, перед экспертом стоит задача определения времени его возникновения. При наличии достаточного количества клинических данных определение давности



сти травмы у живых людей, как правило, не представляет значительных затруднений. Однако в ряде случаев специалисту предоставляются лишь контрольные рентгенограммы пораженной области, выполненные спустя длительное время после травмы и без первичных клинико-рентгенологических сведений. В подобных ситуациях установление сроков повреждения оказывается крайне сложной задачей.

На сегодняшний день в отечественной и зарубежной научной литературе отсутствуют унифицированные рентгенологические критерии, позволяющие достоверно определить давность переломов. В судебно-медицинских исследованиях этот вопрос рассматривается преимущественно в контексте гистологических, гистохимических, фрактографических, ультразвуковых и иных методов анализа, тогда как рентгенологический подход остается малоразработанным. В травматологической литературе данная проблема также не является предметом первоочередного изучения [1, 2].

В современных отечественных и зарубежных научных публикациях отсутствуют четкие критерии определения давности переломов на основе рентгенографических данных. В судебно-медицинской литературе встречаются работы, посвященные данному вопросу, однако большинство из них базируется на результатах гистологического и гистохимического методов исследования [3, 4].

Определение давности переломов костей носа является важной задачей в судебно-медицинской практике, особенно при экспертизе живых лиц. Данная проблема особенно актуальна в случаях, когда необходимо установить хронологию травматических воздействий, что имеет ключевое значение при решении юридических и медицинских вопросов.

Современные методы визуализации позволяют значительно повысить точность диагностики различных стадий заживления костных повреждений. Компьютерная томография (КТ) является одним из наиболее информативных методов оценки состояния костных структур и окружающих мягких тканей. В отличие от традиционной рентгенографии, КТ позволяет выявлять не только выраженные деформации костей, но и малозаметные изменения, связанные с перестройкой костной ткани, склерозированием, образованием костной мозоли и реакцией мягких тканей на травму.

Цель исследования: уточнить рентгенологические критерии установления давности переломов костей носа, опираясь на данные судебно-медицинской экспертизы, выполненной с применением КТ. Особое внимание уделено сравнительно-

му анализу рентгенологических признаков, позволяющих дифференцировать острый перелом от консолидированного повреждения, а также оценке влияния этих данных на объективность судебно-медицинских выводов.

Материал и методы

Проанализированы данные судебно-медицинской экспертизы 259 исследований пострадавших с переломами костей носа, полученными в результате механических травм (как изолированных, так и в сочетании с другими повреждениями). Все пациенты были обследованы с помощью стандартной рентгенографии и КТ с 3D-реконструкцией.

Исследования проводились в определенные временные интервалы: в день поступления в лечебное учреждение, через 10–14 дней, 21 день и 1 мес после травмы. При распределении по полу повреждения фиксировались у 82,9% мужчин и 17,1% женщин, а наиболее часто – у лиц в возрасте 21–38 лет (83,3%). В 79,3% случаев травма носа произошла в результате бытовых или уличных инцидентов, в 15,2% – при автомобильных происшествиях и в 5,5% – при падении с высоты.

В оценку и анализ были включены следующие рентгенологические признаки:

- состояние мягкотканых отеков в области носа;
- форма и структура краев перелома (неровные, “спикулообразные” края для острых повреждений, сглаженные или склерозированные при старых переломах);
- наличие гемосинуса;
- характер линии просветления между отломками (узкая и четкая при остром переломе, расширенная, размытая или с признаками консолидации при старых переломах);
- признаки ремоделирования костной структуры (образование костной мозоли, признаки остеокластической резорбции).

Результаты исследования

Анализ КТ-данных позволил выделить характерные рентгенологические признаки, имеющие корреляцию с регенеративными процессами. Острые переломы, полученные в день исследования или за 3–4 сут от момента поступления пациента в стационар, характеризовались неровными “спикулообразными” краями и заостренными углами отломков. Линия просветления у острых переломов не достигала ширины более 1 мм, при этом ее детализация была контрастной и четкой. Основополагающим признаком было отмечено наличие отека мягких тканей носа и лица на стороне перелома костей, который оценивался по данным 3D-реконструкции КТ (рис. 1, 2).

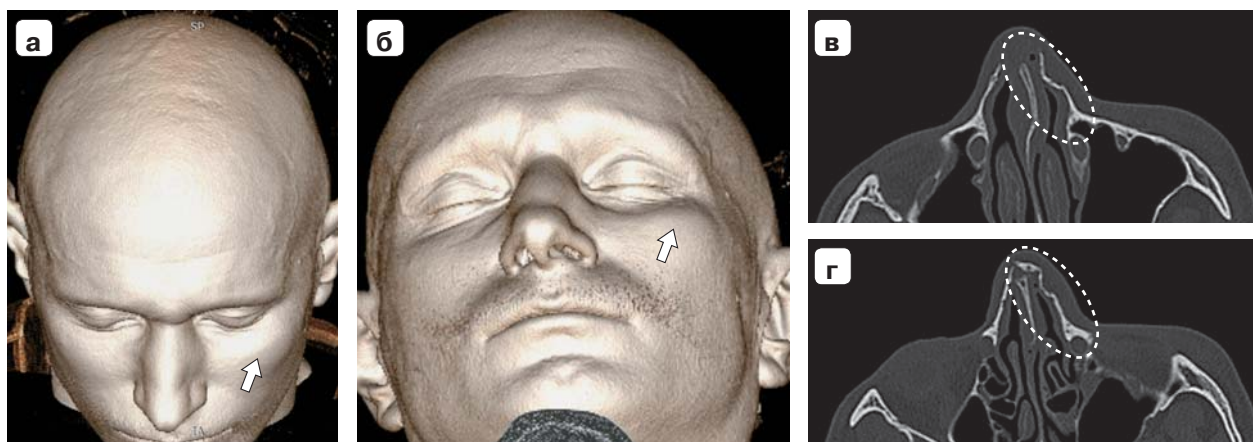
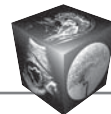


Рис. 1. КТ с т3D-реконструкцией мягких тканей лица (а, б). КТ лицевого черепа, костное окно, аксиальная плоскость (в, г). Определяется импрессионный перелом костей носа слева (в, г – пунктир). Линия просветления между отломками минимальной ширины, углы отломков заострены. Со стороны внутренней костной пластинки носовой кости в локализации перелома единичное включение пузырька газа. Мягкие ткани носа, щечной и параорбитальной области слева отечны (а, б – стрелка).

Fig. 1. CT scan with 3D-reconstruction of the soft tissues of the face (а, б). CT scan of the facial skull, bone window, axial plane (в, г). The impression fracture of the nasal bones on the left is determined (в, г – dotted line). The line of illumination between the fragments is of minimal width, the corners of the fragments are pointed. From the side of the inner bone plate of the nasal bone, there is a single inclusion of a gas bubble in the fracture site. The soft tissues of the nose, buccal and paraorbital regions on the left are edematous (а, б – arrow).

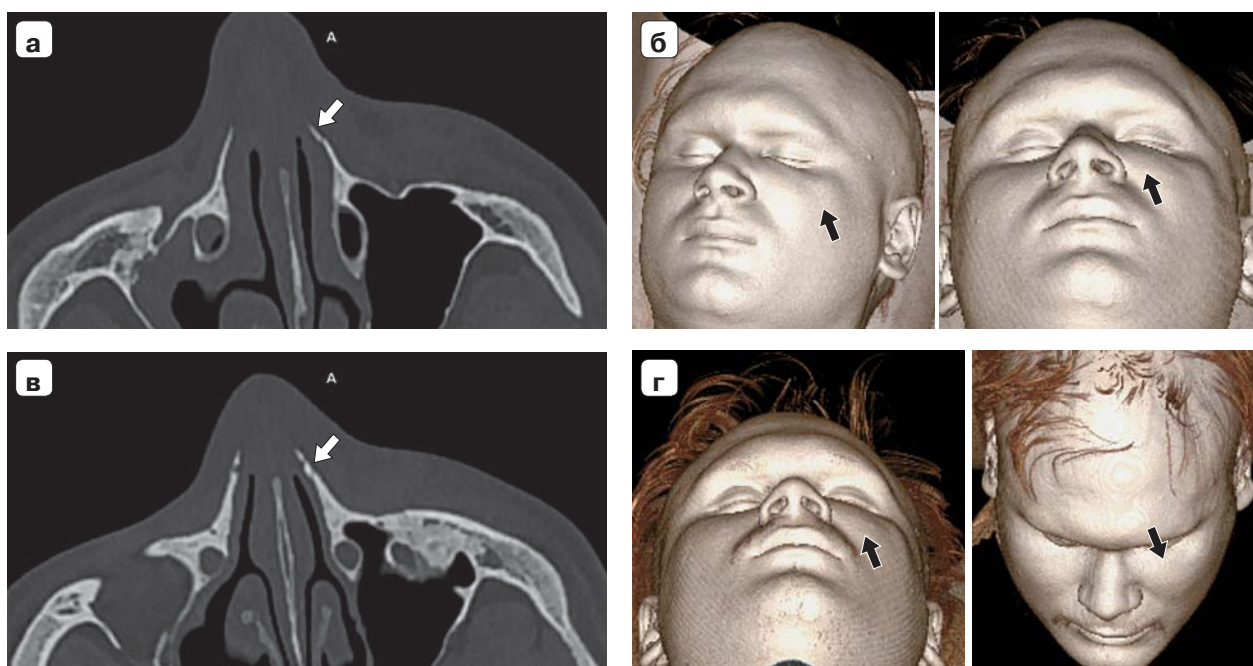


Рис. 2. КТ лицевого черепа, костное окно, аксиальная плоскость (а, в). КТ с 3D-реконструкцией мягких тканей лица (б, г). Определяется перелом костей носа слева (а, в – белая стрелка). Линия просветления между отломками минимальной ширины, углы отломков заострены. Мягкие ткани носа, щечной и параорбитальной области слева отечны (б, г – черная стрелка).

Fig. 2. CT scan of the facial skull, bone window, axial plane (а, в). CT scan with 3D-reconstruction of the soft tissues of the face (б, г). A fracture of the bones of the nose on the left is determined (а, в – white arrow). The line of illumination between the fragments is of minimal width, the corners of the fragments are pointed. The soft tissues of the nose, buccal and paraorbital regions on the left are edematous (б, г – black arrow).

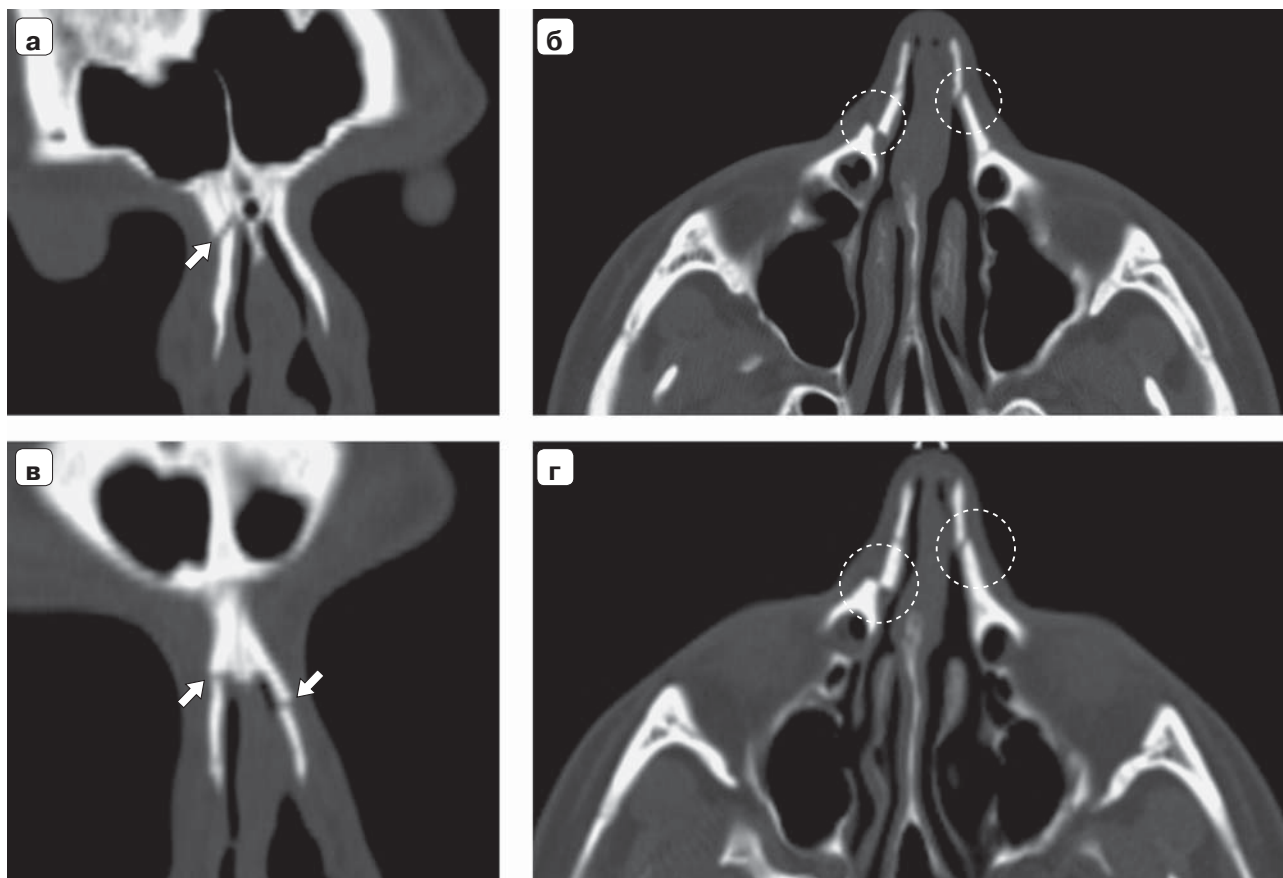


Рис. 3. КТ лицевого черепа, костное окно, коронарная плоскость (**а, в**), аксиальная плоскость (**б, г**). Определяются переломы носовых костей в нескольких местах. Отмечаются сглаженность краев переломов, наличие костного склероза в смежных отломках (**а, в** – белые стрелки). Отсутствуют реакции мягких тканей, непосредственно прилегающих к местам переломов. Дистанция между краями отломков >1 мм (**б, г** – пунктирная окружность).

Fig. 3. CT scan of the facial skull, bone window, coronary plane (**a, v**), axial plane (**б, г**). Fractures of the nasal bones are determined in several places. There is a smoothness of the fracture edges, the presence of bone sclerosis in adjacent fragments (**a, в** – white arrows). There is no reaction of the soft tissues immediately adjacent to the fracture sites. The distance between the edges of the fragments is >1 мм (**б, г** – dotted circle).

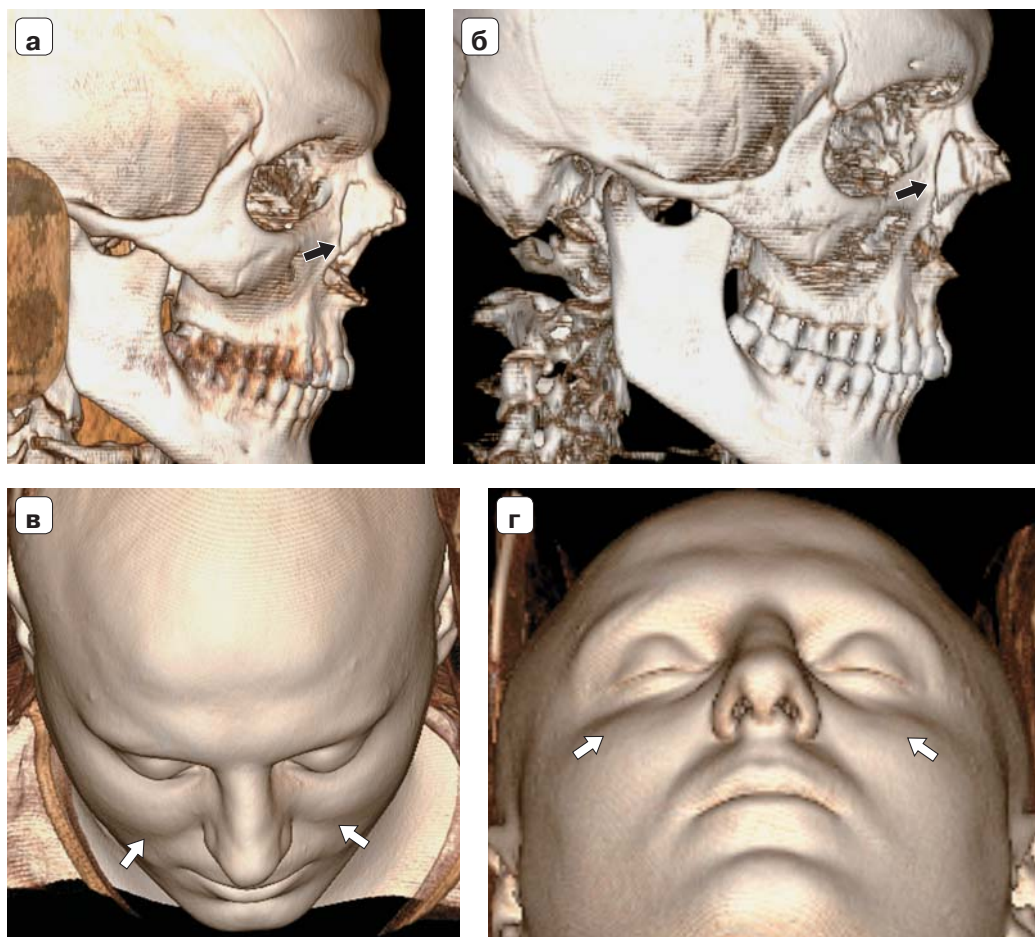
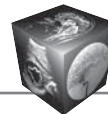


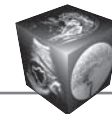
Рис. 4. КТ с 3D-реконструкцией черепа (а, б). КТ с 3D-реконструкцией мягких тканей лица (в, г). Определяются переломы носовых костей в нескольких местах (а, б – черные стрелки). Отсутствуют реакции мягких тканей, непосредственно прилегающих к местам переломов (в, г – белые стрелки).

Fig. 4. CT scan with 3D-reconstruction of the skull (а, б). CT scan with 3D-reconstruction of the soft tissues of the face (в, г). Fractures of the nasal bones are determined in several places (а, б – black arrows). There is no reaction of the soft tissues immediately adjacent to the fracture sites (в, г – white arrows).



Таблица. Рентгенологические признаки переломов костей носа в зависимости от давности травмы
Table. Radiological signs of fractures of the bones of the nose, depending on the prescription of the injury

Рентгенологические признаки Radiological signs	Давность образования перелома костей носа The prescription of the formation of a fracture of the bones of the nose			
	0–4 сут 0–4 days	10–14 сут 10–14 days	20–21 сут 20–21 days	28 сут и более 28 days or more
Наличие отека мягких носа The presence of swelling of the soft nose	+	–	–	–
Характеристика костной ткани в области краев смежных отломков Characteristics of bone tissue in the area of the edges of adjacent fragments	Неровные “спикулообразные” с мелкими зазубринами Uneven “spiculate” with small notches	Снижение выраженности зазубренности контуров Reducing the severity of jagged contours	Концы отломков притуплены, сглажены The ends of the fragments are blunted, smoothed	Склерозирование Sclerosis
Характеристика углов отломков Characteristics of the angles of fragments	Заостренные углы Sharpened corners	Одновременное наличие заостренных и притупленных углов Simultaneous presence of pointed and blunted corners	Сглаженные, притупленные Smoothed, blunted	–
Характеристика линии просветления Characteristics of the line of enlightenment	Детально прослеживается с шириной до 1 мм It can be traced in detail with a width of up to 1 mm	Снижение четкости и контрастности сохранением ширины до 1 мм Reduced clarity and contrast while maintaining a width of up to 1 mm	Максимальная детализация с шириной от 1 мм и более Maximum detail with a width of 1 mm or more	Детализация снижена, может не определяться The detail is reduced, it may not be determined
Наличие гемосинуса в решетчатом лабиринте при повреждении его стенок The presence of hemosinus in the trellis maze when its walls are damaged	+	–	–	–
Наличие визуальных признаков костной мозоли The presence of visual signs of a callus	–	–	+	+



Следующий период динамического контроля проводился через 10–14 сут. Линия просветления между отломками сохраняла свою ширину в пределах 1 мм, однако было заметно снижение ее четкости и контрастности. Сохраняется зазубренность контуров в области перелома, однако выраженность данного признака снижается. Отек мягких тканей к этому периоду практически регрессировал.

На 20–21-й день впервые были отмечены рентгенологические признаки формирования костной мозоли. При этом зубчики краев переломов выглядели более сглаженными, концы отломков притуплялись в результате ремоделирования костной ткани. Линия просветления становилась более четкой, а ее ширина достигала более 1 мм (рис. 3, 4).

На 4–5-й неделе и далее достоверно детализировались костная мозоль, склеротические изменения прилежащих костных отломков и изменение архитектоники костной ткани, по нашим предположениям за счет локального снижения минеральной плотности.

Динамика изменений рентгенологических признаков перелома костей носа отражена в таблице.

В судебно-медицинской экспертизе определение давности перелома играет ключевую роль в установлении причинно-следственных связей между травмой и последствиями. Выявленные закономерности позволяют экспертам с высокой степенью достоверности утверждать, когда было нанесено повреждение. В первые 21 сут преобладают признаки острого повреждения: выраженный отек, наличие костных осколков, “спикулообразные” края перелома, отсутствие склероза. В период от 21 сут и далее появляются признаки ремоделирования, исчезновение отека, склерозирование, формирование костной мозоли.

Таким образом, КТ-диагностика в сочетании с клиническими данными позволяет проводить точное датирование переломов, что является неотъемлемым элементом экспертной оценки тяжести и давности телесных повреждений.

Обсуждение

Одним из актуальных вопросов в судебной медицине является установление давности механической травмы, поскольку именно по ней определяется причинно-следственная связь между травматическим воздействием и вредом здоровью [5, 6]. Однако проблема установления давности переломов костей носа изучена недостаточно, что особенно важно с учетом высокой частоты подобных повреждений – переломы костей носа составляют значительную долю от общего числа травм

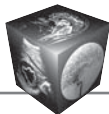
лицевого черепа [7, 8]. Традиционные методы рентгенографии зачастую не позволяют объективно дифференцировать острые переломы от консолидированных (хронических) повреждений, так как не дают достаточной детализации краев отломков и особенностей линии просветления между ними. Современные методы КТ с возможностью 3D-реконструкции демонстрируют высокую чувствительность и специфичность при выявлении тонких изменений в структуре кости, позволяющих установить стадию регенеративных процессов в зоне перелома.

Полученные результаты демонстрируют, что применение КТ позволяет с высокой достоверностью дифференцировать острые переломы от старых, с наибольшей точностью на дистанции времени 21 день. Рентгенологические признаки, такие как состояние краев отломков и линия просветления между ними, меняются в зависимости от времени, прошедшего с момента травмы. Эти изменения отражают последовательные стадии репаративной регенерации кости, которые описаны в отечественной литературе и подтверждены данными судебно-медицинской практики [2, 9, 10].

Особое значение имеет нормативная база. Приказ Минздрава РФ № 194н (2008) не учитывает возможности современных лучевых методов, что может приводить к ошибкам в установлении давности травмы. Поэтому интеграция данных КТ в судебно-медицинскую экспертизу позволяет не только повысить точность оценки, но и объективизировать выводы экспертов, особенно при наличии спорных клинических данных [6, 11].

Кроме того, использование КТ позволяет проводить динамическую оценку изменений в поврежденной области, что особенно важно при определении сроков репаративных процессов и, соответственно, временной нетрудоспособности пациентов. Установлено, что рентгенологические характеристики переломов костей носа тесно коррелируют с динамикой физиологических регенеративных процессов. С.А. Буров писал, что “...у взрослых первые очаги обызвествления появляются на рентгенограмме в среднем не раньше 3–4 нед (на 16–22-й день) после перелома. Одновременно с этим или на несколько дней раньше концы отломков несколько притупляются и контуры коркового слоя отломков становятся в области мозоли несколько неровными и смазанными” [12].

При отсутствии смещения и рентгенологических признаках консолидации эксперт не может установить причинно-следственную связь с недавним воздействием, что имеет решающее значение для судебно-медицинской экспертизы и объективизации его выводов.



Заключение

Определение давности переломов костей носа является важной задачей судебно-медицинской экспертизы, имеющей ключевое значение для оценки характера и хронологии травматических воздействий. Проведенное исследование подтвердило, что применение КТ продемонстрировало высокую информативность в дифференциации острых и консолидированных переломов, что позволяет значительно повысить объективность экспертных заключений. Выявленные рентгенологические признаки, такие как изменение структуры краев отломков, динамика линии просветления и формирование костной мозоли, коррелируют с физиологическими процессами репарации и могут служить надежными критериями для определения давности переломов. Установленные закономерности позволяют экспертам более точно датировать травму, что имеет важное значение для юридической оценки происшествий.

Интеграция КТ в судебно-медицинскую практику способствует повышению точности диагностики, минимизации ошибок при установлении давности повреждений и совершенствованию методологии экспертных исследований. Дальнейшие разработки в этом направлении, включая совершенствование нормативной базы и внедрение количественных методов анализа, представляют собой перспективное направление судебно-медицинской диагностики.

Участие авторов

Медведева Н.А. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Серова Н.С. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Medvedeva N.A. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

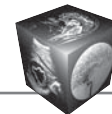
Serova N.S. – text preparation and editing, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Ли Ю.Б., Вишнякова М.В., Максимов А.В. Судебно-медицинское определение давности переломов на основании данных рентгенологических методов исследования: научный обзор. *Судебная медицина*. 2024; 10 (2): 229–240. <http://doi.org/10.17816/fm16085>
2. Богданова Л.Е., Гончар Д.Г. Установление давности перелома костей носа при экспертизе “живых лиц”. В сборнике научных трудов “Теория и практика судебной медицины” / Ред. Бабаханян Р.В., Заславский Г.И., Попов В.Л. СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 2006: 42–46.
3. Чулихина Н.А., Шестопалов К.К., Плаксин В.О. Комплексная оценка давности переломов при локальном повреждении диафизарных отделов длинных трубчатых костей с использованием рентгенологического метода диагностики. *Проблемы экспертизы в медицине*. 2001; 1 (4): 3–6.
4. Бруско А.Т., Гайко Г.В. Современные представления о стадиях репаративной регенерации костной ткани при переломах. *Вестник ортопедии, травматологии и протезирования*. 2014; 2: 5–8.
5. Гончар Д.Г. Использование возможностей рентгенологии для установления давности перелома костей носа при судебно-медицинской экспертизе: Материалы XVII съезда оториноларингологов России. СПб.: 2006: 265.
6. Киреева Е.А., Суворова Ю.С. Состояние проблемы судебно-медицинского определения пожизненности и давности переломов костей носа: Материалы итоговой научной конференции Российского центра судебно-медицинской экспертизы. М., 2006: 70–74.
7. Медведева Н.А., Серова Н.С., Павлова О.Ю., Гридасова И.С. Лучевая диагностика переломов стенок орбит и ее роль в судебно-медицинской экспертизе живых лиц. *REJR*. 2024; 14 (2): 6–18. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2024-14-2-6-18>
8. Аржанцев, А.П. Рентгенодиагностика травм челюстно-лицевой области. *REJR*. 2014; 4 (2): 15–27.
9. Расулова М.Р., Индиаминов С.И. Возможности установления давности переломов костей носа методами лучевой диагностики. The 6th International scientific and practical conference: Eurasian scientific congress (June 14–16, 2020). Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain, 2020: 91.
10. Расулова М., Сайдалиева М., Бекмирзаева З. Установление давности переломов костей носа методами лучевой диагностики. *SCHOLAR*. 2023; 1 (4): 28–31.
11. Подолько В.П. Медико-правовая значимость телесных повреждений (практическое пособие для судебных медиков и юристов). Брянск, 2000. 296 с.
12. Буров С.А., Резников Б.Д. Рентгенология в судебной медицине. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1975. 287 с.

References

1. Li Yu.B., Vishnyakova M.V., Maksimov A.V. Forensic medical determination of the prescription of fractures based on X-ray examination methods: a scientific review. *Forensic Medicine*. 2024; 10 (2): 229–240. <http://doi.org/10.17816/fm16085> (In Russian)
2. Bogdanova L.E., Gonchar D.G. The establishment of the limitation period for the fracture of the bones of the nose



- during the examination of “living persons”. In the collection of scientific papers “Theory and Practice of Forensic Medicine” / Eds by Babakhanyan R.V., Zaslavsky G.I., Popov V.L. St. Petersburg: Publishing House of the Institute of Forensic Sciences of St. Petersburg State University, 2006: 42–46. (In Russian)
3. Chulikhina N.A., Shestopalov K.K., Plaksin V.O. Comprehensive assessment of the prescription of fractures in case of local damage to the diaphyseal sections of long tubular bones using the X-ray diagnostic method. *Problems of Expertise in Medicine*. 2001; 1 (4): 3–6. (In Russian)
 4. Brusko A.T., Gaiko G.V. Modern concepts of the stages of reparative regeneration of bone tissue in fractures. *Bulletin of Orthopedics, Traumatology and Prosthetics*. 2014; 2: 5–8. (In Russian)
 5. Gonchar D.G. Using the possibilities of radiology to establish the prescription of a fracture of the bones of the nose during a forensic medical examination: Proceedings of the XVII Congress of Otorhinolaryngologists of Russia, St. Petersburg. 2006: 265. (In Russian)
 6. Kireeva, E.A., Suvorova, Y.S. The state of the problem of forensic medical determination of the lifetime and prescription of fractures of the bones of the nose: Materials of the final scientific conference of the Russian Center for Forensic Medical Examination. Moscow, 2006: 70–74. (In Russian)
 7. Medvedeva N.A., Serova N.S., Pavlova O. Yu., Gridasova I.S. Radiation diagnostics of orbital wall fractures and its role in the forensic medical examination of living persons. *REJR*. 2024; 14 (2): 6–18. <http://doi.org/10.21569/2222-7415-2024-14-2-6-18> (In Russian)
 8. Arzhantsev A.P. X-ray diagnostics of injuries of the maxillofacial region. *REJR*. 2014; 4 (2): 15–27. (In Russian)
 9. Rasulovala M.R., Indiaminov S.I. The possibility of establishing the prescription of fractures of the bones of the nose by radiological diagnostics. The 6th International scientific and practical conference: Eurasian scientific congress (June 14–16, 2020). Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain, 2020: 91. (In Russian)
 10. Rasulovala M., Saidalieva M., Bekmirzayeva Z. The establishment of the prescription of fractures of the bones of the nose by methods of radiation diagnostics. *SCHOLAR*. 2023; 1 (4): 28–31. (In Russian)
 11. Podolyako V.P. The medical and legal significance of bodily injuries (a practical guide for forensic doctors and lawyers). Bryansk, 2000. 296 p. (In Russian)
 12. Burov S.A., Reznikov B.D. Radiology in forensic medicine. Saratov University Press, Saratov: 1975. 287 p. (In Russian)

Для корреспонденции*: Медведева Наталья Александровна – e-mail: radiologmed@mail.ru

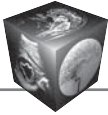
Медведева Наталья Александровна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2371-5661>

Серова Наталья Сергеевна – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2975-4431>

Contact*: Natalya A. Medvedeva – e-mail: radiologmed@mail.ru

Natalia A. Medvedeva – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy of the N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2371-5661>

Natalia S. Serova – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy of the N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2975-4431>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1520>

Перфузия и внутриневральное давление седалищного нерва при сахарном диабете 1 типа в молодом возрасте: мультимодальная оценка (УЗИ, МРТ)

© Фомина С.В.*, Самойлова Ю.Г., Тонких О.С., Кошмелева М.В.,
Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России;
634050 Томск, Московский тракт, д. 2, Российская Федерация

Диабетическая полинейропатия относится к часто встречаемым осложнениям сахарного диабета. Характеризуется поражением периферических нервов с изменениями перфузии и внутриневрального давления. Поиск новых диагностических инструментов является актуальной задачей.

Цель исследования: оценка перфузии и внутриневрального давления седалищных нервов у подростков с сахарным диабетом 1 типа с использованием мультимодального подхода (УЗИ, МРТ).

Материал и методы. Пациенты с сахарным диабетом 1 типа в возрасте 13–17 лет ($n = 50$). Всем пациентам дважды в динамике было выполнено ультразвуковое исследование периферических нервов нижних конечностей с использованием серошкального режима, доплерографии, эластографии сдвиговой волной. МРТ седалищного нерва проведено пациентам ($n = 20$) с использованием методов диффузионно-тензорной трактографии и перфузионного метода один раз.

Выводы. Мультимодальный подход (УЗИ, МРТ) позволяет охарактеризовать перфузию и внутриневральное давление седалищных нервов у подростков с сахарным диабетом 1 типа. Усиление МР-перфузии седалищных нервов сопровождается повышением ультразвуковой жесткости, коэффициента ультразвуковой оценки периферических нервов у подростков с сахарным диабетом 1 типа.

Ключевые слова: диабетическая полинейропатия; ультразвуковое исследование нервов; площадь поперечного сечения; эластография; магнитно-резонансная томография; перфузия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

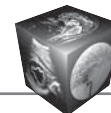
Для цитирования: Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Тонких О.С., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А. Перфузия и внутриневральное давление седалищного нерва при сахарном диабете 1 типа в молодом возрасте: мультимодальная оценка (УЗИ, МРТ). *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (2): 98–107. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1520>

Поступила в редакцию: 18.12.2024. Принята к печати: 09.01.2025. Опубликовано online: 18.04.2025.

Perfusion and intraneural pressure of the sciatic nerve in type 1 diabetes mellitus at a young age: multimodal assessment (ultrasound, MRI)

© Svetlana V. Fomina*, Iuliia G. Samoilova, Olga S. Tonkikh, Marina V. Koshmeleva,
Dmitriy A. Kachanov, Ekaterina I. Trifonova, Maxim A. Zorkaltsev

Siberian State Medical University; 2, Moskovskii trakt, Tomsk 634050, Russian Federation



Diabetic polyneuropathy (DPN) is a common complication of diabetes mellitus. It is characterized by damage to peripheral nerves with changes in perfusion and intraneural pressure. The search for new diagnostic tools is an urgent task.

The aim of the study is to assess perfusion and intraneural pressure of the sciatic nerves in adolescents with type 1 diabetes mellitus using a multimodal approach (ultrasound, MRI).

Materials and methods. Patients with type 1 diabetes mellitus aged 13–17 years ($n = 50$). All patients underwent ultrasound examination of the peripheral nerves of the lower extremities twice dynamically, using a greyscale mode, Dopplerography, and shear wave elastography. MRI of the sciatic nerve was performed in patients ($n = 20$) using diffusion tensor tractography and perfusion methods once.

Conclusions. A multimodal approach (ultrasound, MRI) allows us to characterize sciatic nerve perfusion and intraneural pressure in adolescents with type 1 diabetes mellitus. Increased MR perfusion of the sciatic nerves is accompanied by an increase in ultrasonic stiffness and the coefficient of ultrasound assessment of peripheral nerves in adolescents with type 1 diabetes mellitus.

Keywords: diabetic polyneuropathy; ultrasound examination of nerves; cross-sectional area; elastography; magnetic resonance imaging; perfusion

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Fomina S.V., Samoilova Iu.G., Tonkikh O.S., Koshmeleva M.V., Kachanov D.A., Trifonova E.I., Zorkaltsev M.A. Perfusion and intraneural pressure of the sciatic nerve in type 1 diabetes mellitus at a young age: multimodal assessment (ultrasound, MRI). *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 98–107. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1520>

Received: 18.12.2024.

Accepted for publication: 09.01.2025.

Published online: 18.04.2025.

Введение

Диабетическая полинейропатия (ДПН) является распространенным осложнением сахарного диабета (СД), имеет высокую социальную значимость в детском и подростковом возрасте [1]. Рост количества пациентов с СД в популяции требует большого внимания к вопросу раннего выявления и профилактики развития осложнений.

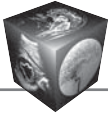
Особенностью течения ДПН является длительный бессимптомный период, что неблагоприятно отражается на отдаленных результатах лечения [2, 3].

Патогенез ДПН на сегодняшний день точно не определен, ученые высказывают разные мнения, теории. Главную роль отводят влиянию хронической гипергликемии, которая запускает каскад патологических изменений, вызывающих поражение стенки мельчайших эндоневральных сосудов с разрушением эндотелиальных клеток, развитием ишемии, приводящей к нарушению структуры и снижению функции нервных волокон. По мнению S. Yagihashi и соавт., уязвимость нервов к ишемии связана с анатомической особенностью кровоснабжения периферических нервов за счет транспериневральных артериол, прободающих периневрий на пути к эндоневрию, и их слабой ауторегуляцией [3, 4]. Снижение кровоснабжения приводит к дистальной сенсорной дегенерации нервных волокон с потерей аксонов и развитием эндоневральной микроангиопатии. Далее поражаются все участки периферических нервов, миелинизированные и немиелинизированные нервные аксоны, перикарион, нервные сосуды и глиальные клетки [1, 3].

Диагностика ДПН основана на клинко-инструментальных методах. Среди методов лучевой диагностики ультразвуковые исследования занимают лидирующие позиции в оценке периферических нервов, так как позволяют исследовать нерв практически на всем протяжении безболезненно, без лучевой нагрузки, быстро. Техническое развитие ультразвуковой диагностики сделало возможным оценить не только размер и структуру периферических нервов, но и измерить жесткость волокон методом эластографии сдвиговой волной (ЭСВ). Данный метод основан на свойствах ткани менять свою жесткость при физиологических процессах, таких как старение, и при патологических изменениях, таких как воспаление и злокачественная трансформация. ЭСВ показала свою эффективность, диагностическую точность при дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных новообразований поверхностно-расположенных органов, а также в диагностике стадии фиброза печени [5, 6].

Анализ библиографических источников позволяет сделать вывод о высокой эффективности использования ультразвуковой эластографии в диагностике ДПН [7–10]. Ученые связывают увеличение жесткости нервов у пациентов с СД с повышением внутриневрального давления при развитии ишемии в ответ на гипергликемию и делают предположения о возможности использовать данную особенность для динамического наблюдения изменений нервов при ДПН [8–10].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является “золотым стандартом” среди методов лучевой диагностики [11]. Высокая разрешающая



способность с приближением к уровню гистологического строения, возможность оценить васкуляризацию без использования контрастного вещества открывает новые возможности в нейрорadiологии [11–13]. Однако ряд ограничений, таких как наличие металлических конструкций, клаустрофобия, для детей младшего возраста потребность наркоза в силу длительности исследования, кроме того, большая протяженность нервных стволов с необходимостью посегментарного исследования, что значительно увеличивает длительность процедуры и экономические затраты, не позволяет методу играть ключевую роль в повседневной клинической практике при диагностике ДПН.

Настоящее исследование было предпринято для изучения возможностей аппроксимации применения коэффициента “ультразвуковой оценки периферического нерва” для динамического наблюдения изменений седалищных нервов у подростков с СД 1 типа.

Цель исследования: оценить перфузию и внутриневральное давление седалищных нервов у подростков с сахарным диабетом 1 типа с использованием мультимодального подхода (УЗИ, МРТ).

Материал и методы

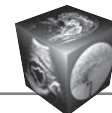
Исследование проведено в клиниках ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” Минздрава России. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (заключение № 9518 от 28.08.2023).

В исследование были включены данные 50 детей в возрасте от 13 до 17 лет с установленным диагнозом СД 1 типа, ДПН, с уровнем гликированного гемоглобина от 7,6 до 10,4%. Наблюдение проводили в течение года. УЗИ периферических нервов двух нижних конечностей выполняли всем подросткам два раза, временная разница между осмотрами составляла 12 мес. МРТ седалищного нерва средней трети правого бедра проводили один раз в год 20 пациентам.

УЗИ периферических нервов нижних конечностей выполнялись всем пациентам на аппарате экспертного класса Canon Aplio i 700 линейным высокочастотным датчиком до 18 МГц одним врачом ультразвуковой диагностики. Положение пациента при УЗИ – лежа на животе. Исследование включало: серошкальный режим, режим цветового доплеровского картирования (ЦДК), недоплеровскую микроваскуляризацию (SMI), режим ЭСВ. В серошкальном режиме УЗИ выполняли

в поперечных и продольных срезах, оценивали структуру, целостность, отсутствие кистозных и солидных образований в нервах, наличие дифференцировки на фасцикулы. Измерение размеров нервов проводили в поперечных срезах путем ручной трассировки и расчета площади поперечного сечения (ППС). Седалищный нерв измеряли на уровне средней трети бедра, большеберцовый нерв в нижней трети бедра, на 1–2 см ниже бифуркации седалищного нерва, малоберцовый нерв аналогично большеберцовому в нижней трети бедра, на 1–2 см ниже бифуркации седалищного нерва. Ультразвуковую оценку васкуляризации проводили в зонах измерения ППС нервов с использованием режимов ЦДК и SMI, при визуализации локуса кровотока васкуляризация нерва считалась усиленной. Оценку упругоэластических свойств периферических нервов проводили методом ультразвуковой ЭСВ с выполнением правил проведения ЭСВ поверхностно-расположенных органов [5, 6, 14]. Измерения выполняли строго в поперечных срезах нервов, в зонах измерения ППС, со строгим соблюдением правил параллельности и перпендикулярности размещения датчика относительно нерва. Длительность оценки жесткости в каждой зоне исследования составляла не менее 4 с, количество измерений каждого участка не менее 3 раз с автоматическим расчетом медианы жесткости нерва в кПа. Для снижения влияния артефактов измерения мы избегали большой глубины сканирования (более 80 мм), близкого расположения костных структур и крупных сосудов с влиянием передаточной пульсации [14, 15]. Дополнительно к медиане жесткости рассчитывали коэффициент “ультразвуковой оценки периферических нервов” (УПН) по формуле: $УПН = \text{жесткость} / \text{ППС}$ [14]. Данный коэффициент использовали как критерий отбора пациентов в отдельную подгруппу для проведения МРТ. Подгруппа “МРТ” включала 20 пациентов с наибольшим повышением УПН при втором визите в сравнении с первым.

МРТ-исследование проводили на магнитно-резонансном томографе Signa Creator «Е» фирмы GE Healthcare 1,5 Тл (Китай) с использованием методов диффузионно-тензорной трактографии и перфузионного метода. Диффузионно-тензорная трактография – методика МРТ, предоставляющая информацию о состоянии нервных структур и связях между этими структурами. Диффузионно-тензорные изображения фиксируют процессы диффузии молекул воды в биологических тканях. Диффузию называют изотропной, когда молекулы воды (протоны) диффундируют во всех направлениях одинаково, и анизотропной, если молекулы воды перемещаются преимущественно в одном



направлении. В ходе исследования использовали импульсную последовательность – одноимпульсную эхопланарную томографию без подавления сигнала от свободной жидкости с измерением в 20 направлениях коэффициента диффузивности, что позволяло получить серии изображений с одинаковой локализацией срезов для оценки различных трактографических показателей периферических нервов. Алгоритм диффузионно-тензорной трактографии включал получение изображений диффузионной MPT нервов с протоколом сканирования DTI_high_iso, толщиной среза 2 мм, с использованием встроенной постпроцессорной программы (Neuro 3D), с построением карт фракционной анизотропии, расчетом коэффициента диффузии, диффузионного тензора и реконструкцией проводящих путей в трехмерном режиме (трактографию) с определением количества волокон седалищного нерва в средней трети бедра. Перфузионный метод проводили с использованием методики метки артериальных спинов (arterial spin labeling, ASL) без введения контрастного вещества, с оценкой микроциркуляции, с построением карт мозгового кровотока (CBF). Постобработку полученных данных выполняли при помощи пакета программ ReadyView (GE Healthcare). Во всех случаях карты кровотока совмещали с анатомическими изображениями T2. Во всех случаях применяли программу корегистрации – BrainStat (GE Healthcare).

Статистический анализ был выполнен с помощью программного обеспечения Statistica версия 13.3. Для описания количественных данных использованы медиана и 25–75-й процентиля. Для сравнения двух независимых групп был использован непараметрический критерий Манна–Уитни. Зависимые группы “до–после” сравнивали непараметрическим критерием Уилкоксона. Оценка корреляционной зависимости между показателями проведена непараметрическим критерием Спирмена. Уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования

Предыдущий этап исследования показал наличие изменений упругоэластических свойств периферических нервов при СД 1 типа у детей и подростков в сравнении с контрольной группой здоровых [7, 14]. Были зарегистрированы повышение жесткости нервов, повышение коэффициента УПН седалищного и большеберцового нервов при СД 1 типа с нарастанием размеров крупных стволов нервов (седалищного, большеберцового на бедре) и отсутствием изменений размеров нервов

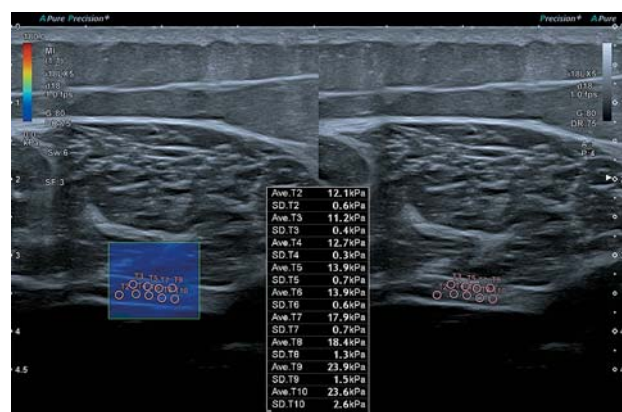


Рис. 1. Повышение жесткости седалищного нерва у пациента 14 лет с СД 1 типа. Метка ультразвукового датчика “Т” относительно седалищного нерва справа в верхнем углу.

Fig. 1. Increased sciatic nerve stiffness in a 14-year-old patient with type 1 diabetes. Ultrasound transducer mark “T” relative to sciatic nerve in upper right corner.

малого калибра (малоберцового, большеберцового на лодыжке) (рис. 1) [14].

Было высказано предположение о возможности использования коэффициента УПН для динамического наблюдения изменений периферических нервов у пациентов с СД 1 типа независимо от возраста.

Анализ изменений упругоэластических свойств нервов в динамике, с разницей между ультразвуковыми осмотрами 12 мес показал наличие тенденций повышения коэффициента УПН при втором визите (рис. 2).

Исходя из формулы расчета коэффициента УПН его повышение могло быть связано с увеличением жесткости либо уменьшением размеров нервов (ППС).

Анализ жесткости, размеров нервов (ППС) зарегистрировал уменьшение ППС у пациентов с СД 1 типа при втором визите. Значение жесткости значимо не менялось в течение года (табл. 1).

Для верификации уменьшения размеров нервов, оценки перфузии была выполнена MPT седалищного нерва в средней трети бедра, как самого крупного периферического нерва. Учитывая симметричную клиническую картину установленного у всех пациентов диагноза ДПН, отсутствие разницы между ультразвуковыми показателями всех участков исследования правой и левой конечностей на протяжении нашего исследования, было принято решение для первичной оценки достаточно проводить MPT седалищного нерва средней трети только правого бедра. Критерием отбора

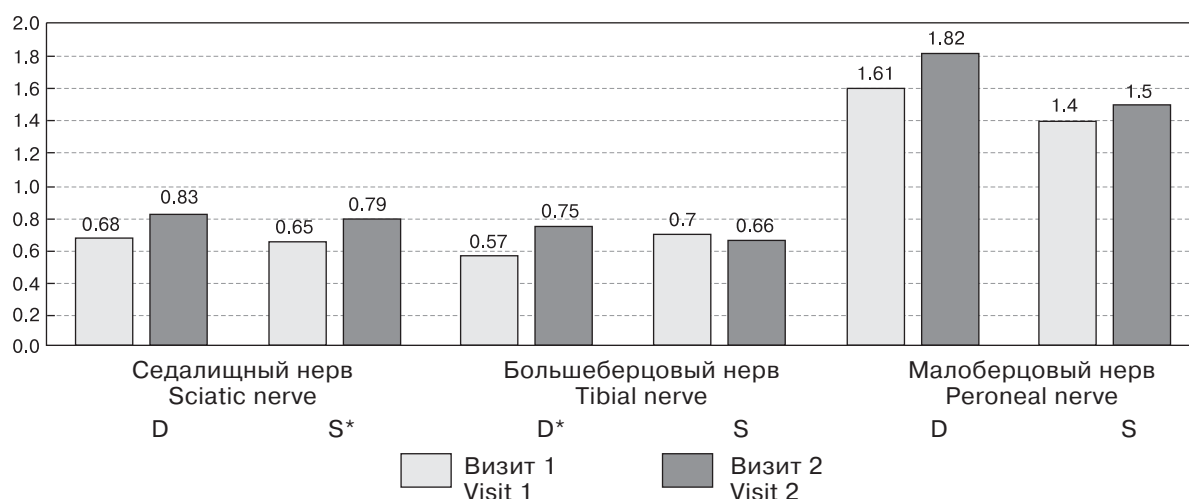


Рис. 2. Динамическое наблюдение коэффициента УПН у подростков с СД 1 типа. * – уровень значимости $p < 0,05$. D – справа, S – слева.

Fig. 2. Dynamic observation of the “Ultrasound assessment of peripheral nerve” (UPN) coefficient in adolescents with type 1 diabetes. * – $p < 0,05$. D – dextra, S – sinistra.

Таблица 1. Сравнение площади поперечного сечения, жесткости седалищного, большеберцового, малоберцового нервов у пациентов с сахарным диабетом 1 типа “визит 1” и “визит 2” (критерий Уилкоксона, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 1. Comparison of cross-sectional area, stiffness of the sciatic, tibial, peroneal nerves in patients with type 1 diabetes mellitus “Visit 1” and “Visit 2” (Wilcoxon signed-rank test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Визит 1 / Visit 1			Визит 2 / Visit 2			p
	медиана median	процентили percentiles		медиана median	процентили percentiles		
		25	75		25	75	
ППС, седалищный нерв (R), мм ² CSA, sciatic nerve (R), mm ²	23.00	18.00	29.00	21.00	18.00	28.00	0.261
ППС, седалищный нерв (L), мм ² CSA, sciatic nerve (L), mm ²	23.00	18.00	29.00	21.00	18.00	26.00	0.012
ППС, большеберцовый нерв (R), мм ² CSA, tibial nerve, on the thigh (R), mm ²	13.00	11.00	15.00	8.00	5.60	11.70	0.001
ППС, большеберцовый нерв (L), мм ² CSA, tibial nerve, on the thigh (L), mm ²	13.00	10.00	15.00	11.00	10.00	14.00	0.048
ППС, малоберцовый нерв (R), мм ² CSA, peroneal nerve (R), mm ²	5.00	4.00	6.00	5.00	4.00	6.00	0.082
ППС, малоберцовый нерв (L), мм ² CSA, peroneal nerve (R), mm ²	5.00	4.00	6.00	4.00	4.00	5.00	0.005
Жесткость, седалищный нерв (R), кПа Stiffness, sciatic nerve (R), kPa	18.50	13.30	23.70	18.20	15.10	23.40	0.630
Жесткость, седалищный нерв (L), кПа Stiffness, sciatic nerve (L), kPa	18.30	13.60	23.80	20.60	14.20	23.40	0.238
Жесткость, большеберцовый нерв (R), кПа Stiffness, tibial nerve, on the thigh (R), kPa	7.50	5.50	9.90	8.00	5.60	11.70	0.427
Жесткость, большеберцовый нерв (L), кПа Stiffness, tibial nerve, on the thigh (L), kPa	7.90	6.00	10.70	7.35	5.60	9.90	0.674
Жесткость, малоберцовый нерв (R), кПа Stiffness, peroneal nerve (R), kPa	5.00	4.00	6.00	8.40	5.80	11.00	0.328
Жесткость, малоберцовый нерв (L), кПа Stiffness, peroneal nerve (L), kPa	7.00	5.00	10.50	4.00	4.00	5.00	0.107

Примечание. ППС – площадь поперечного сечения, R – справа, L – слева.

Note. CSA – cross-sectional area, R – right, L – left.

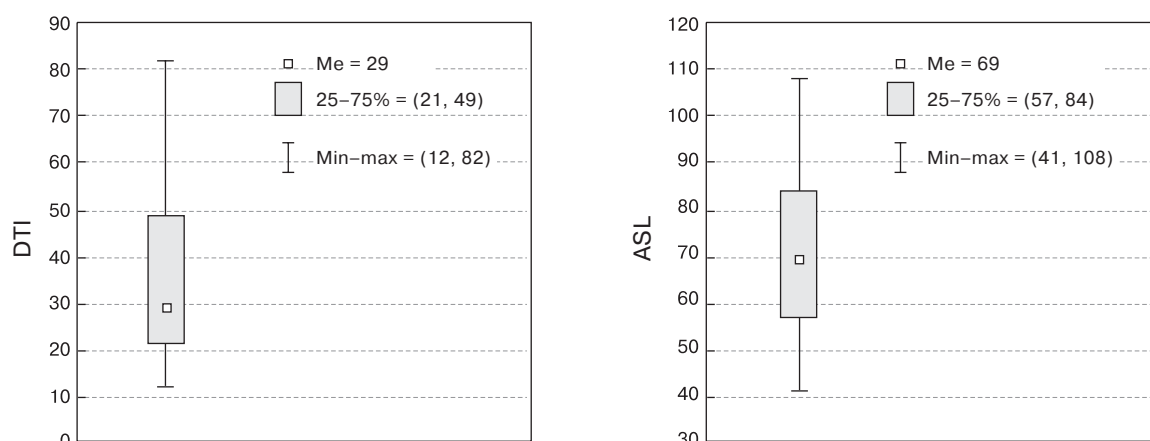
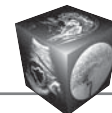


Рис. 3. МР-характеристики седалищных нервов у подростков с сахарным диабетом 1 типа. DTI – количество волокон, ASL – перфузия.

Fig. 3. Magnetic resonance characteristics of the sciatic nerves in adolescents with type 1 diabetes mellitus. DTI – number of fibers, ASL – perfusion.

пациентов для проведения МРТ был выбран ультразвуковой показатель УПН. 20 пациентов с наиболее высоким повышением коэффициента при втором визите относительно первого были выделены в отдельную подгруппу для проведения МРТ. Оценка количества волокон (DTI) по данным МР-диффузионно-тензорной трактографии у 20 подростков с СД 1 типа показала распределение количества волокон от 12 до 82 при сравнении с единственным нормативным показателем DTI, равным 100 для головного мозга, по причине отсутствия нормативов для периферических нервов. Полученный результат соответствовал уменьшению количества волокон (рис. 3) [11]. Предполагаемое уменьшение количества волокон по данным МРТ согласуется с ультразвуковыми результатами измерения ППС седалищного нерва при “визите 2” (см. табл.1).

Принимая во внимание увеличение жесткости нервов по данным эластографии, уменьшение размеров нервов по данным УЗИ и МРТ, следующий этап включал оценку васкуляризации седалищного нерва.

Ультразвуковая доплерография (ЦДК, PW) и недоплеровская васкуляризация (SMI) не зарегистрировали локусы кровотока при исследовании седалищного нерва у пациентов с СД 1 типа.

Бесконтрастная перфузионная МРТ седалищного нерва (ASL) с оценкой микроциркуляции с построением карт скорости кровотока (CBF) показала распределение коэффициента перфузии (ASL) от 41 до 108% у исследуемых пациентов. Сравнение с нормативными показателями для головного мозга ASL, равной 65%, в силу от-

сутствия нормативных значений для периферических нервов показало у 33% подростков с СД 1 типа перфузию менее 65% и 67% пациентов более 65% [12, 13]. Обращает на себя внимание у 33% пациентов усиление перфузии более 84%, что свидетельствует о более вероятной гиперперфузии (рис. 3, 4).

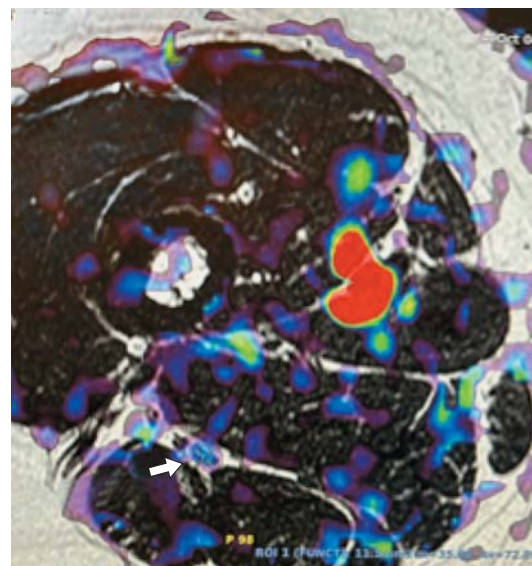


Рис. 4. Измерение перфузии седалищного нерва у подростка с сахарным диабетом 1 типа (ASL). Стрелка указывает зону интереса – седалищный нерв.

Fig. 4. Measurement of sciatic nerve perfusion in an adolescent with type 1 diabetes mellitus (ASL). The arrow indicates the area of interest – the sciatic nerve.

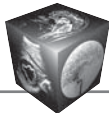


Таблица 2. Сравнение ультразвуковой жесткости седалищного, большеберцового и малоберцового нервов у подростков с сахарным диабетом 1 типа при различной МР-перфузии седалищного нерва (критерий Манна–Уитни, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 2. Comparison of ultrasound stiffness of the sciatic, tibial and peroneal nerves in adolescents with type 1 diabetes mellitus at different MR perfusion of the sciatic nerve (Mann–Whitney test, significance level $p < 0.05$)

Показатели Indicators	Перфузия седалищного нерва менее 65% Sciatic nerve perfusion less than 65%			Перфузия седалищного нерва более 65% Sciatic nerve perfusion more than 65%			p
	медиана median	процентили percentiles		медиана median	процентили percentiles		
		25	75		25	75	
Жесткость, седалищный нерв, кПа Stiffness, sciatic nerve, kPa	15.00	11.30	18.70	22.80	18.80	33.90	0.018
Жесткость, большеберцовый нерв, кПа Stiffness, tibial nerve, on the thigh, kPa	6.20	4.40	9.80	10.60	8.60	11.00	0.016
Жесткость, малоберцовый нерв, кПа Stiffness, peroneal nerve, kPa	6.60	5.10	8.10	9.30	8.50	13.40	0.018

Таблица 3. Анализ взаимосвязи МР-перфузии седалищного нерва с ультразвуковой жесткостью, коэффициентом УПН седалищного, большеберцового и малоберцового нервов у подростков с СД 1 типа (критерий Спирмена, уровень значимости $p < 0,05$)

Table 3. Analysis of the relationship between MR perfusion of the sciatic nerve and ultrasonic stiffness, the SPN coefficient of the sciatic, tibial and peroneal nerves in adolescents with type 1 diabetes (Spearman test, significance level $p < 0.05$)

	Жесткость седалищного нерва, кПа Stiffness, sciatic nerve, kPa	УПН седалищного нерва SPN, sciatic nerve	Жесткость большеберцового нерва, кПа Stiffness, tibial nerve, kPa	УПН больше- берцового нерва SPN, tibial nerve	Жесткость мало- берцового нерва, кПа Stiffness, peroneal nerve, kPa	УПН мало- берцового нерва SPN, peroneal nerve
ASL	0.6190*	0.547*	0.461*	0.533*	0.742*	0.071

Примечание. В таблице указан коэффициент корреляции, * – взаимосвязи показателей с уровнем значимости $p < 0,05$.

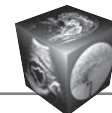
Note. The table shows the correlation coefficient, * – interrelationships between indicators, with a significance level of $p < 0.05$.

Для оценки взаимосвязи ультразвуковой жесткости и перфузии седалищного нерва был выполнен сравнительный анализ показателя жесткости у пациентов с СД 1 типа с разной перфузией по данным МРТ, 1-я группа включала пациентов с перфузией менее 65%, вторая группа с перфузией более 65% (табл. 2). Учитывая анатомию седалищного нерва, наличие в его структуре порции волокон большеберцового и малоберцового нервов, было принято решение проанализировать упруго-эластические свойства данных нервов у пациентов с разной перфузией по данным МРТ (см. табл. 2).

Анализ показал статистически значимое повышение жесткости седалищных, большеберцовых и малоберцовых нервов у пациентов с перфузией более 65%.

Следующим этапом был проведен корреляционный анализ для определения взаимосвязи МР-перфузии (ASL) с ультразвуковыми показателями, характеризующими упругоэластические свойства периферических нервов (жесткость, коэффициент УПН), результат представлен в табл. 3.

В результате анализа была выявлена статистически значимая прямо пропорциональная корреляционная связь средней и высокой силы, что позволило сделать вывод о взаимосвязи повышения перфузии седалищного нерва с повышением жесткости седалищного, большеберцового и малоберцового нервов, а также увеличением коэффициента УПН седалищного и большеберцового нервов у подростков с СД 1 типа.



Обсуждение

Учитывая данные литературы, а также результаты собственных исследований, свидетельствующих о повышении жесткости крупных нервов нижних конечностей с увеличением их размеров и одновременным отсутствием увеличения размеров нервов малого калибра, предполагается преобладание механизмов аксональной и смешанной форм поражения в патогенезе развития ДПН [8, 10, 14, 15]. Ученые связывают развитие ишемии нерва с повышением внутриневрального давления вследствие метаболических нарушений в ответ на гипергликемию с накоплением продуктов гликирования, окислительным стрессом, изменением липидов и развитием отека [10, 15]. А.В. Байтингер и соавт. в работе, посвященной исследованию роли кровотока в срединном нерве при развитии синдрома запястного канала, приводят данные, которые заслуживают научного внимания. Авторы ссылаются на ранние экспериментальные исследования Lundborg и соавт. (1982) и Hargens и соавт. (1979) и предполагают, что повышение давления внутри нерва при синдроме запястного канала приводит к снижению венозного оттока с последующим запуском веноартериального рефлюкса (рефлюкса Лериша) и артериальному спазму с дальнейшим прогрессированием ишемии [16]. С.М. Mooshage и соавт. в своем исследовании о связи функций мелких волокон с микрососудистой МР-перфузией периферических нервов у больных СД 2 типа высказывают мнение о тесной связи перфузии нервов с нарушением гематонервного барьера, с развитием функциональных нарушений – от их усиления до полной потери. Исследователи обращают внимание на разные состояния МР-перфузии седалищного нерва (снижение, повышение) при разных клинических проявлениях, что может характеризовать разные стадии ДПН [17].

Зарегистрированное в представленном исследовании повышение жесткости нервов в группе с высокой МР-перфузией седалищного нерва, не сопровождаемое увеличением размеров нервов по данным УЗИ и МР-трактографии, а также наличие прямо пропорциональной корреляционной зависимости ультразвуковой жесткости, коэффициента УПН седалищного, большеберцового и малоберцового нервов с показателем МР-перфузии позволяют предположить наличие тесной патогенетической связи процессов васкуляризации с уровнем внутриневрального давления. Учитывая отсутствие при ультразвуковой доплерографии

(ЦДК, PW) и недоплерографической васкуляризации (SMI) зарегистрированного кровотока в периферических нервах нижних конечностей у пациентов с СД 1 типа в молодом возрасте, даже в виде единичных локусов, и отчетливого усиления перфузии нервов при МРТ, можно сделать вывод о наличии изменений на уровне микроциркуляции нервов. Описанные изменения связаны сложным патогенетическим механизмом изменения периферических нервов в ответ на хроническую гипергликемию, включающую развитие ишемии, вероятную активацию сосудистого рефлюкса с последующей гиперперфузией и изменением внутриневрального давления периферических нервов.

Проведенное исследование доказало возможность использовать мультимодальный подход в оценке внутриневрального давления, перфузии седалищного нерва у подростков с СД 1 типа, а также возможную аппроксимацию оценки МР-перфузии седалищных нервов более доступным ультразвуковым методом для динамического наблюдения детей и подростков с СД 1 типа.

Дальнейшие исследования с большим количеством данных пациентов, сопоставление с результатами клинко-лабораторных исследований позволят установить зависимость изменения перфузии, внутриневрального давления периферических нервов от гипергликемии, дислипидемии, длительности СД 1 типа, определить траекторию изменений перфузии и нормативные показатели для данной категории пациентов.

Выводы

1. Мультимодальный подход (УЗИ, МРТ) позволяет объективно охарактеризовать перфузию и внутриневральное давление седалищных нервов у подростков с сахарным диабетом 1 типа.

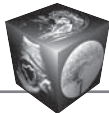
2. Усиление МР-перфузии седалищных нервов сопровождается повышением ультразвуковой жесткости, коэффициента ультразвуковой оценки периферических нервов у подростков с сахарным диабетом 1 типа.

Участие авторов

Фомина С.В. – написание статьи, сбор данных, анализ и интерпретация данных, оформление рукописи.

Самойлова Ю.Г. – разработка концепции и дизайна публикации, проверка интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Тонких О.С., Кошмелева М.В., Трифонова Е.И., Качанов Д.А., Зоркальцев М.А. – сбор данных, поиск литературы, проверка интеллектуального содержания.

**Authors contributions**

Fomina S.V. – article writing, data collection, data analysis and interpretation, manuscript preparation.

Samoilova Iu.G. – development of the concept and design of the publication, verification of intellectual content, final approval of the manuscript for publication.

Tonkikh O.S., Koshmeleva M.V., Trifonova E.I., Kachanov D.A., Zorkaltsev M.A. – data collection, literature search, intellectual content check.

Список литературы [References]

1. Kallinikou D., Soldatou A., Tsentidis C. et al. Diabetic neuropathy in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus: Diagnosis, pathogenesis, and associated genetic markers. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2019; 35 (7): e3178. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3178>
2. Borire A.A., Issar T., Kwai N.C. et al. Correlation between markers of peripheral nerve function and structure in type 1 diabetes. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 2018; 34 (7): e3028. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3028>
3. Sloan G., Selvarajah D., Tesfaye S. Pathogenesis, diagnosis and clinical management of diabetic sensorimotor peripheral neuropathy. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2021; 17 (7): 400–420. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00496-z>
4. Yagihashi S., Mizukami H., Sugimoto K. Mechanism of diabetic neuropathy: Where are we now and where to go? *J. Diabetes Investig.* 2011; 2 (1): 18–32. <https://doi.org/10.1111/j.2040-1124.2010.00070.x>
5. Эластография сдвиговых волн. Анализ клинических примеров (практическое руководство для последипломной профессиональной переподготовки врачей): Учебное пособие для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образования по специальности 31.08.11 Ультразвуковая диагностика (уровень ординатуры). 2-е изд., перераб. и доп. А.В. Борсуков и др. / Под ред. А.В. Борсукова. СИМК, 2022. 468 с. ISBN 978-5-91894-102. Shear Wave Elastography. Analysis of Clinical Cases (a practical guide for postgraduate professional retraining of physicians): a teaching aid for use in the educational process of educational institutions implementing higher education programs in the specialty 31.08.11 Ultrasound Diagnostics (residency level). 2nd ed., revised and enlarged. A.V. Borsukov et al. Ed. A.V. Borsukov. SIMK, 2022. 468 p. ISBN 978-5-91894-102. (In Russian)
6. Ferraioli G., Barr R.G., Farrokh A. et al. How to perform shear wave elastography. Part II. *Med. Ultrason.* 2022; 24 (2): 196–210. <https://doi.org/10.11152/mu-3342>
7. Фомина С.В., Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г., Кудлай Д.А., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. Ультразвуковая оценка периферических нервов у пациентов с сахарным диабетом типа 1 различной длительности в детском и подростковом возрасте. *Врач.* 2023; 34 (12): 17–24. <https://doi.org/10.29296/25877305-2023-12-04>
Fomina S.V., Zavadvorskaya V.D., Samoilova Yu.G. et al. Ultrasound assessment of peripheral nerves in patients with type 1 diabetes mellitus of varying duration in childhood and adolescence. *Vrach (The Doctor).* 2023; 34 (12): 17–24. <https://doi.org/10.29296/25877305-2023-12-04> (In Russian)
8. Wang C., Wang H., Zhou Y. et al. Evaluation of the clinical value of shear wave elastography for early detection and diagnosis of diabetic peripheral neuropathy: a controlled preliminary prospective clinical study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022; 23 (1): 1120. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06085-z>
9. Aslan M., Aslan A., Emeksiz H.C. et al. Assessment of Peripheral Nerves With Shear Wave Elastography in Type 1 Diabetic Adolescents Without Diabetic Peripheral Neuropathy. *J. Ultrasound Med.* 2019; 38 (6): 1583–1596. <https://doi.org/10.1002/jum.14848>
10. He Y., Xiang X., Zhu B.H., Qiu L. Shear wave elastography evaluation of the median and tibial nerve in diabetic peripheral neuropathy. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2019; 9 (2): 273–282. <https://doi.org/10.21037/qims.2019.02.05>
11. Самойлова Ю.Г., Матвеева М.В., Тонких О.С., Кудлай Д.А., Олейник О.А., Фимушкина Н.Ю., Гергет О.М., Борисова А.А. Трактография головного мозга при сахарном диабете и когнитивных нарушениях. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2020; 120 (10): 33–37. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012010133>
Samoilova Y.G., Matveeva M.V., Tonkikh O.S. et al. Brain tractography in type 1 and 2 diabetes and cognitive impairment. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2020; 120 (10): 33–37. (In Russian)
12. Нейровизуализация головного мозга при сахарном диабете / Ю.Г. Самойлова, М.В. Матвеева, Н.Г. Жукова и др. Томск: Изд-во "Печатная мануфактура", 2020. 72 с. Neuroimaging of the brain in diabetes mellitus / Yu.G. Samoilova, M.V. Matveeva, N.G. Zhukova et al. Tomsk: Printing Manufactory Publishing House, 2020. 72 p. (In Russian)
13. Самойлова Ю.Г., Матвеева М.В., Тонких О.С., Лейман О.П., Гергет О.М. Оценка особенностей нейроваскуляризации у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа с использованием различных методов магнитно-резонансной перфузии. *Лучевая диагностика и терапия.* 2021; 12 (1): 36–48. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-1-36-48>
Samoilova Yu.G., Matveeva M.V., Tonkikh O.S. et al. Options of neurovascularization in patients with type 2 diabetes mellitus using different methods of magnetic resonance perfusion. *Diagnostic radiology and radiotherapy.* 2021; 12 (1): 36–48. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-1-36-48> (In Russian)
14. Фомина С.В., Завадовская В.Д., Самойлова Ю.Г., Кошмелева М.В., Качанов Д.А., Трифонова Е.И., Зоркальцев М.А., Юн В.Э. Возможности ультразвуковой эластографии периферических нервов у детей с сахарным диабетом 1 типа. *Медицинская визуализация.* 2024; 28 (4): 133–141. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437>
Fomina S.V., Zavadvorskaya V.D., Samoilova I.G. et al. Possibilities of ultrasound elastography of peripheral nerves in children with type 1 diabetes mellitus. *Medical Visualization.* 2024; 28 (4): 133–141. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1437> (In Russian)
15. Jiang W., Huang S., Teng H. et al. Diagnostic performance of two-dimensional shear wave elastography for evaluating tibial nerve stiffness in patients with diabetic peripheral



- neuropathy. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (5): 2167–2174. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5858-4>
16. Байтингер А.В., Байтингер В.Ф., Магай Ю.В., Чирьев А.И. Роль кровотока в изменении внутриканального давления: новая этиопатогенетическая теория синдрома запястного канала. *Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии.* 2024; 8. <https://doi.org/10.33920/med-01-2407-10>
Baitinger A.V., Baitinger V.F., Magay Yu.V., Chiriyev A.I. Role of blood flow in intracanal pressure: a novel theory of carpal tunnel syndrome etiology. *Bulletin of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery.* 2024; 8. <https://doi.org/10.33920/med-01-2407-10> (In Russian)
 17. Mooshage C.M., Schimpfle L., Kender Z. et al. Association of Small Fiber Function with Microvascular Perfusion of Peripheral Nerves in Patients with Type 2 Diabetes: Study using Quantitative Sensory Testing and Magnetic Resonance Neurography. *Clin. Neuroradiol.* 2024; 34 (1): 55–66. <https://doi.org/10.1007/s00062-023-01328-5>

Для корреспонденции*: Фомина Светлана Викторовна – e-mail: statfom@mail.ru

Фомина Светлана Викторовна – канд. мед. наук, доцент, заведующая отделением, врач ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-7517-3393>.

E-mail: statfom@mail.ru

Самойлова Юлия Геннадьевна – доктор мед. наук, профессор, заведующая кафедрой педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>

E-mail: samoilova_y@inbox.ru

Тонких Ольга Сергеевна – канд. мед. наук, заведующая отделением томографических методов ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-0589-0260>. E-mail: ostonkih@mail.ru

Кошмелева Марина Владиславовна – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>.

E-mail: mvbulavko@mail.ru

Качанов Дмитрий Андреевич – лаборант-исследователь кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-6519-8906>

E-mail: doctorssmupf@gmail.com

Трифоновна Екатерина Ивановна – ассистент кафедры педиатрии с курсом эндокринологии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-2825-5035>

E-mail: trifonova.18@yandex.ru

Зоркальцев Максим Александрович – доктор мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>. E-mail: Zorkaltsev@mail.ru

Contact*: Svetlana V. Fomina – e-mail: statfom@mail.ru

Svetlana V. Fomina – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Head of the Department – Doctor of Ultrasound Diagnostics, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-7517-3393>.

E-mail: statfom@mail.ru

Iuliia G. Samoilova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head Department of Pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>. E-mail: samoilova_y@inbox.ru

Olga S. Tonkikh – Cand. of Sci. (Med.), Chair of the Department of Tomographic Methods, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-0589-0260>. E-mail: ostonkih@mail.ru

Marina V. Koshmeleva – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Pediatrics with a Course of Endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-8142-1226>. E-mail: mvbulavko@mail.ru

Dmitriy A. Kachanov – Laboratory researcher at the Department of Pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-6519-8906>. E-mail: doctorssmupf@gmail.com

Ekaterina I. Trifonova – Assistant of the department of pediatrics with a course of endocrinology, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-2825-5035>. E-mail: trifonova.18@yandex.ru

Maxim A. Zorkaltsev – MD, Doct. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Radiology and Radiotherapy Department, Siberian State Medical University, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-0025-2147>. E-mail: Zorkaltsev@mail.ru



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1492>

Оценка информативности ультразвуковой диагностики для определения объема гемоперитонеума у детей

© Пикало И.А.^{1*}, Подкаменев В.В.¹, Карабинская О.А.¹,
Марченко Д.В.¹, Акудович Н.В.¹, Михайлов Н.И.², Шарапов И.С.²

¹ ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России; 664003 Иркутск, ул. Красного Восстания, д. 1, Российская Федерация

² ОГАУЗ «Городская Ивано-Матренинская детская клиническая больница»; 664047 Иркутск, ул. Советская, д. 57, Российская Федерация

В области детской травмы вопрос оптимального подхода к диагностике объема гемоперитонеума и расчета кровопотери при повреждениях органов брюшной полости имеет важную клиническую значимость.

Цель исследования: разработать способ ультразвуковой диагностики для точного определения объема свободной жидкости в брюшной полости и изучить его информативность у детей с гемоперитонеумом.

Материал и методы. Для расчета объема свободной жидкости при эхосонографии проведен эксперимент на кадаверном материале (10 пострадавших). Для моделирования гидроперитонеума в эпигастриальной области устанавливали дренаж, через который порционно вводился изотонический раствор. В дальнейшем проводились УЗИ и расчет поправочных коэффициентов. Оценка информативности метода ультразвуковой диагностики выполнена на основании результатов одномоментного анализа 47 историй болезни пациентов с разрывом селезенки и гемоперитонеумом, находившихся на лечении в период с января 1997 г. по сентябрь 2009 г.

Результаты. В эксперименте на кадаверном материале при сравнении между истинным объемом и полученным объемом по данным эхосонографии выявлена значимая ($p = 0,008$) разница 400 (100; 600) мл и 139 (21; 355) мл соответственно. Для оптимизации подсчета объема свободной жидкости по данным УЗИ были рассчитаны поправочные коэффициенты, которые составили 2,36 при малом гидроперитонеуме (до 11 мл/кг), 1,37 при умеренном (11–22 мл/кг) и 1,04 при большом (более 22 мл/кг). В клинической группе проведена оценка информативности эхосонографии с использованием полученных коэффициентов и площади поверхности тела. Выявлено, что полученная формула обладает высокими диагностическими тестами (чувствительность 93–100%; специфичность 88,2–97,7%) для истинного расчета объема гемоперитонеума у детей.

Заключение. У детей при выполнении абдоминальной эхосонографии с использованием поправочных коэффициентов можно с высокой точностью рассчитать истинный объем излившейся крови, что необходимо для оценки кровопотери. Полученные результаты позволяют внести вклад в оптимизацию диагностических процедур и улучшить наше понимание в оценке точного объема гемоперитонеума в контексте повреждений органов брюшной полости.

Ключевые слова: тупая травма живота; дети; гемоперитонеум; ультразвуковая диагностика

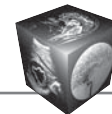
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Пикало И.А., Подкаменев В.В., Карабинская О.А., Марченко Д.В., Акудович Н.В., Михайлов Н.И., Шарапов И.С. Оценка информативности ультразвуковой диагностики для определения объема гемоперитонеума у детей. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (2): 108–115.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1492>

Поступила в редакцию: 05.07.2024.

Принята к печати: 11.10.2024.

Опубликована online: 17.01.2025.



Assessment of the informativeness of ultrasonography for determination of the volume of hemoperitoneum in children

© Ilia A. Pikalo^{1*}, Vladimir V. Podkamenev¹, Olga A. Karabinskaya¹,
Dmitri V. Marchenko¹, Natalya V. Akudovich¹, Nikolai I. Mikhailov², Ivan S. Sharapov²

¹ Irkutsk State Medical University; 1, Krasnogo Vosstaniya str., Irkutsk 664003, Russian Federation

² Ivano-Matreninskaya City Children Clinical Hospital; 57, Sovetskaya str., Irkutsk 664047, Russian Federation

In the field of pediatric trauma, the question of the optimal approach to diagnosing the volume of hemoperitoneum and calculating blood loss in injuries to the abdominal organs is of important clinical significance.

Aim. To develop an ultrasound diagnostic method to accurately determine the volume of free fluid in the abdominal cavity and study its informative value in children with hemoperitoneum.

Material and methods. To calculate the volume of free fluid during echosonography, an experiment was conducted on cadaver material (10 victims). To simulate hydroperitoneum, a drainage was installed in the epigastrium using a puncture method, through which an isotonic solution was injected into the peritoneal cavity in portions. Subsequently, ultrasound was performed and correction factors were calculated. The assessment of the informativeness of the ultrasound diagnostic method was carried out based on the results of a one-time analysis of 47 case histories of patients with splenic rupture and hemoperitoneum who were treated from January 1997 to September 2009.

Results. In an experiment on cadaver material, a comparison between the true volume and the obtained volume according to echosonography revealed a significant ($p = 0.008$) difference of 400 (100; 600) ml and 139 (21; 355) ml, respectively. To optimize the calculation of the volume of free fluid according to ultrasound data, correction factors were calculated, which were 2.36 for low hydroperitoneum (up to 11 ml/kg); 1.37 for moderate (11–22 ml/kg) and 1.04 for large (more than 22 ml/kg). In the clinical group, the information content of ultrasound was assessed using the obtained correction factors and body surface area. It was revealed that the resulting formula has high diagnostic tests (sensitivity 93–100%; specificity 88.2–97.7%) for the true calculation of hemoperitoneum volume in children.

Conclusion. In children, when performing abdominal echosonography using correction factors, it is possible to calculate with high accuracy the true volume of bloodshed, which is necessary for assessing blood loss. Our results allow us to contribute to the optimization of diagnostic procedures and improve our understanding in assessing the exact volume of hemoperitoneum in the context of abdominal injuries.

Keywords: blunt abdominal trauma; children; hemoperitoneum; ultrasound diagnostics

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Pikalo I.A., Podkamenev V.V., Karabinskaya O.A., Marchenko D.V., Akudovich N.V., Mikhailov N.I., Sharapov I.S. Assessment of the informativeness of ultrasonography for determination of the volume of hemoperitoneum in children. *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 108–115. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1492>

Received: 05.07.2024.

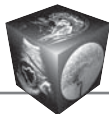
Accepted for publication: 11.10.2024.

Published online: 17.01.2025.

Введение

Травматические повреждения parenхиматозных органов брюшной полости у детей закономерно сопровождаются гемоперитонеумом (ГП) [1–3]. Компьютерная томография (КТ) с контрастированием является “золотым стандартом” для установления окончательного диагноза и подсчета объема ГП при тупой травме живота благодаря ее высокой точности [4, 5]. Современные методы лучевой диагностики позволяют рассчитать анатомические шкалы тяжести травмы, что способствует разработке оптимального плана лечения и минимизации рисков осложнений для пациента. При оценке кро-

вопотери в динамике требуются неоднократные диагностические исследования изменения объема ГП. Однако при множественных облучениях у детей увеличивается риск онкологии в течение жизни [6]. Так, при проведении КТ-исследований из 10 000 детей ожидается, что у 1–2 из них в последующие 12 лет разовьются злокачественные гематологические новообразования, связанные с радиационным воздействием [7]. По данным научной литературы известно, что воздействие облучения может вызывать сложные хромосомные повреждения у детей, приводящие к риску дальнейших мутаций [8]. Учитывая недостатки ионизирующего излучения, необходимо более



осторожно назначать повторные КТ-исследования при травме у детей. В этом плане ультразвуковое исследование (УЗИ) представляет собой безопасную и эффективную альтернативу КТ для диагностики у детей [9–11]. При анализе последних публикаций выявлено, что для определения наличия или отсутствия свободной жидкости в полости брюшины эхосонаграфия имеет высокую специфичность 94–99% и неопределенную чувствительность 33,3–95% [12–16]. Нами обнаружены единичные работы, посвященные подсчету объема ГП при УЗИ, однако в них не проводился анализ его диагностической информативности [17, 18].

Учитывая вышеперечисленное, актуальным является разработка способа для точного расчета объема ГП методом эхосонаграфии.

Цель исследования: разработать способ ультразвуковой диагностики (УЗД) для определения объема свободной жидкости в брюшной полости и изучить его информативность у детей с ГП.

Материал и методы

Доклиническое исследование. Для расчета объема свободной жидкости при эхосонаграфии создана экспериментальная модель гидроперитонеума на кадаверном материале. Критерии включения: 1-е сутки биологической смерти; отсутствие рубцов на передней брюшной стенке; отсутствие перед экспериментальным моделированием свободной жидкости по данным абдоминальной эхосонаграфии. Критериям включения соответствовало 10 пострадавших. Доклиническое исследование проведено на базе ГБУЗ “Иркутское областное бюро судебно-медицинской экспертизы”.

УЗИ осуществлялось аппаратом EDAN-U50 (Китай, 2018 г.), использовали конвексный датчик с частотой 3,5 МГц.

Для моделирования гидроперитонеума в эпигастральной области устанавливали дренаж размером 12–14 FR. Порционно через дренаж по 50 мл в полость брюшины вводился изотонический раствор объемом до 2000 мл.

Для ультразвукового сканирования брюшной полости использовали FAST-протокол [19]. При подсчете объема измеряли свободную жидкость в выявленных анатомических областях. В поперечном сечении измеряли ширину (ш) и толщину (т), а в сагиттальном срезе длину (д) свободной жидкости. Рассчитывали объем по формуле для эллипсоида:

$$V = 4/3\pi R_1 R_2 R_3 = 4/3\pi (ш \times т \times д)/2 \approx ш \times т \times д \times 0,523.$$

Клинический раздел исследования. Оценка информативности метода УЗД выполнена на ос-

новании результатов одномоментного анализа историй болезни пациентов с разрывом селезенки и ГП, находившихся на лечении в Городской Ивано-Матренинской детской клинической больнице г. Иркутска в период с января 1997 г. по сентябрь 2009 г. Критерий включения: травма селезенки с ГП; лапароскопический метод лечения. Критерию включения соответствовало 47 пациентов. Объем ГП, измеренный во время операции, использовали в качестве референтного стандарта. Данные об объеме ГП, полученные при эхосонаграфии, сопоставляли с данными, полученными во время хирургического лечения. УЗИ проводили непосредственно перед оперативным лечением. В 91,5% (n = 43) случаев дети были прооперированы в первые 12 ч от момента получения травмы, при этом интраоперационно не отмечалось наличия кровяных сгустков.

Мальчиков наблюдалось в 3,7 раза больше, чем девочек (78,7 и 21,3% соответственно). Возраст пострадавших составил 10 (7; 13) лет. Для расчета диагностических тестов пациенты были разделены на 3 группы:

1-я группа (n = 31) – объем ГП до 11 мл/кг массы тела, что соответствовало I степени кровопотери (менее 15% объема циркулирующей крови (ОЦК));

2-я группа (n = 12) – объем ГП от 11 до 22 мл/кг массы тела, что соответствовало II степени кровопотери (от 15 до 30% ОЦК);

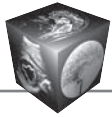
3-я группа (n = 4) – объем ГП более 22 мл/кг массы тела, что соответствовало III–IV степени кровопотери (более 30% ОЦК).

Для определения площади поверхности тела (ППТ) использовали формулу, предложенную G.B. Nauscock [20]:

$$\text{ППТ, м}^2 = 0,024265 \times \text{массу тела (кг)} 0,5378 \times \times \text{рост (см)} 0,3964.$$

Статистическую обработку данных проводили с помощью программ Statistica 10.1, MedCalc® statistical software. Выборки данных проверяли на соответствие закону нормального распределения. Результаты представляли медианой (Me) с указанием первого (25-го) и третьего (75-го) квартиля вариационного ряда. Статистическая значимость различий между изучаемыми группами оценивалась с помощью критерия Манна–Уитни. За достоверную значимость принята величина $p < 0,05$. Для оценки диагностических тестов использовали четырехпольные таблицы.

Исследование было одобрено 15 ноября 2019 г. локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО “Иркутский государственный медицинский университет” Минздрава России, протокол №3. Для



исследования на кадаверном материале руководствовались требованиями, изложенными в Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации – эксперимент был спланирован на основе углубленного изучения проблемы по данным литературы; экспериментальное моделирование ГП было тщательно обосновано и направлено на получение новых результатов, недостижимых другими методами.

Результаты исследования

В эксперименте на кадаверном материале при анализе введенного объема изотонической жидкости и данных, полученных при УЗИ с использованием формулы для эллипсоида, выявлена значимая ($p = 0,008$) разница 400 (100; 600) мл и 139 (21; 355) мл соответственно (рис. 1).

Для получения детальных параметров гидроперитонеума при УЗИ данные введенной жидкости были разделены на малый (до 11 мл/кг), умеренный (11–22 мл/кг) и большой (более 22 мл/кг) объем. Для оптимизации подсчета объема свободной жидкости по данным УЗИ полученные показатели умножались на ППТ, m^2 .

В табл. 1 представлен расчет коэффициентов между введенным объемом свободной жидкости и объемом, полученным при УЗИ.

Как видно из табл. 1, чем больше объем гидроперитонеума, тем точнее он определяется по данным УЗИ с использованием формулы для эллипсоида, умноженной на ППТ.

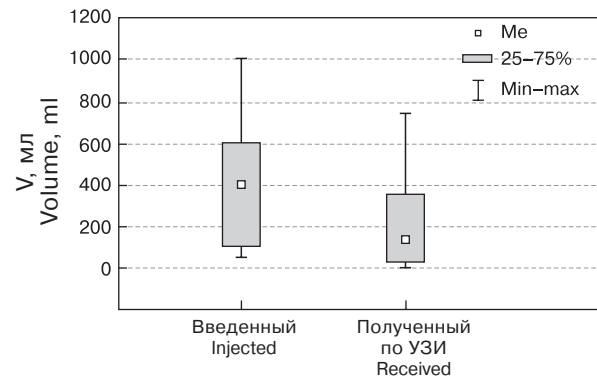


Рис. 1. Сравнительный анализ объема введенной и полученной жидкости.

Fig. 1. Comparative analysis of the volume of injected and received fluid.

При малых объемах (до 11 мл/кг) целесообразно использовать поправочный коэффициент 2,36; при средних объемах (11–22 мл/кг) – 1,37; при больших объемах (более 22 мл/кг) – 1,04. Авторами получен патент № 2830196 С1 РФ, МПК А61В 8/00 “Способ определения объема свободной жидкости в брюшной полости”: заявка № 2023135190 от 25.12.2023; опубликован 14.11.2024.

В группе клинического исследования у всех пациентов проведен перерасчет объема ГП при эхосонаграфии с использованием полученной формулы:

Таблица 1. Расчет поправочных коэффициентов для определения объема свободной жидкости в брюшной полости по данным УЗИ

Table 1. Calculation of correction factors for determining the volume of free fluid in the abdominal cavity according to ultrasound data

Параметры Parameters	Всего Overall	≤11 мл/кг ≤11 ml/kg	11–22 мл/кг 11–22 ml/kg	≥22 мл/кг ≥22 ml/kg
Объем введенной жидкости, мл Volume of injected liquid, ml	400 (100; 600)	150 (100; 300)	550 (400; 700)	800 (600; 1000)
Объем жидкости по данным УЗИ, (V УЗИ), мл Volume of fluid according to ultrasound data (V ultrasound), ml	139 (21; 355)	31 (6; 125)	209 (142.6; 490)	419 (359; 545)
ППТ, m^2 BSA, m^2	2.15 (1.6; 2.16)	2.15 (1.7; 2.16)	1.87 (1.37; 2.16)	1.87 (1.4; 2.15)
Объем (УЗИ) • ППТ Volume (ultrasound) • BSA	225 (29.12; 618.8)	66.6 (10.2; 212.5)	224.7 (143.8; 362.9)	759.2 (624; 963.2)
Коэффициент* Coefficient*	1.65 (0.98; 2.85)	2.36 (1.0; 9.8)	1.37 (0.66; 2.47)	1.04 (0.96; 1.07)

* Коэффициент рассчитан по формуле: Объем (V) введенной жидкости / V (УЗИ) • ППТ.

* The coefficient is calculated using the formula: Volume of injected liquid / V ultrasound • BSA.

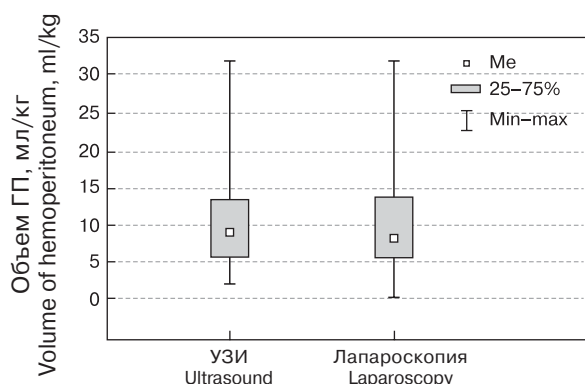


Рис. 2. Сравнительный анализ объема ГП по данным УЗИ и лапароскопии.

Fig. 2. Comparative analysis of the volume of hemoperitoneum according to ultrasound and laparoscopy.

$$V (\text{мл}) = V (\text{УЗИ}) \times \text{ППТ} \times K,$$

где V – объем ГП в мл; V (УЗИ) – объем свободной жидкости, полученный по формуле для эллипсоида; ППТ – площадь поверхности тела; K – коэффициент.

Объем крови в полости брюшины, полученный при эхосонаграфии, равнялся 280 (200; 400) мл и был сопоставим с объемом, полученным во время операции, 250 (200; 400) мл. При этом кровопотеря по данным лапароскопии в 91,5% соответствовала I–II степени тяжести и не превышала 22 мл/кг массы тела. У 3 (6,4%) детей кровопотеря от ОЦК составила в диапазоне 36–38%, или 25–27 мл/кг массы тела, что соответствовало III степени тяжести. У одного ребенка (2,1%) кровопотеря от

ОЦК составила 42,5%, или 32 мл/кг массы тела, что соответствовало IV степени тяжести.

Медиана объема ГП на массу тела ребенка при эхосонаграфии составила 9,3 (6; 13,5) мл/кг, при этом не выявлено статистически значимых различий между объемом излившейся крови на массу тела пациента, полученной во время лапароскопии, – 8,3 (5,9; 14) мл/кг ($p = 0,71$) (рис. 2).

Результаты расчета информативности абдоминальной эхосонаграфии с использованием полученных коэффициентов и ППТ пациента в определении точных объемов ГП при разрывах селезенки у детей представлены в табл. 2.

УЗИ брюшной полости с использованием ППТ и поправочных коэффициентов обладает высокими диагностическими тестами (чувствительность 93–100%; специфичность 88,2–97,7%) для истинного расчета объема ГП.

Таким образом, у детей при выполнении абдоминальной эхосонаграфии с использованием поправочных коэффициентов можно с большой вероятностью рассчитать истинный объем ГП, оценить кровопотерю и в динамике выявить продолжающееся или отсроченное кровотечение.

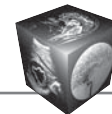
Обсуждение

Впервые метод для количественной оценки ГП при эхосонаграфии был предложен М.М. Knudson и соавт. (1990), который до настоящего времени широко используется при абдоминальной травме. Метод основан на обнаружении крови в восьми различных внутрибрюшных областях [21]. Дальнейшие исследования российских ученых в определении объема ГП также в своей основе имели ори-

Таблица 2. Диагностические характеристики УЗД в оценке объемов ГП с использованием поправочных коэффициентов

Table 2. Diagnostic characteristics of ultrasound in assessing hemoperitoneum volumes using correction factors

Тестовые характеристики Test characteristics	Гемоперитонеум / Hemoperitoneum		
	≤11 мл/кг ≤11 ml/kg	11–22 мл/кг 11–22 ml/kg	≥22 мл/кг ≥22 ml/kg
Чувствительность Sensitivity	93.5% (78–99)	93% (66.1–99)	100% (40–100)
Специфичность Specificity	88.2% (64–98.5)	96.9% (84–100)	97.7% (88–100)
Прогностическая ценность положительного результата Positive predictive values	93.5% (78–98.1)	92.9% (65.2–98.9)	80% (36.6–96.5)
Прогностическая ценность отрицательного результата Negative predictive values	88.2% (66–96.7)	96.9% (83–99.5)	100% (92–100)
Точность Accuracy	91.5% (79.6–97.6)	95.7% (85.5–99.5)	97.9% (88.7–99.9)



ентир на скоплении крови в различных полостях брюшины [22–24]. Однако ГП имеет тенденцию к перемещению из одного анатомического пространства в другое в зависимости от ряда факторов:

- скопление крови зависит от положения человека. При вертикальном положении кровь визуализируется в дугласовом пространстве, при горизонтальном положении – в латеральных пространствах и кармане Моррисона;

- на перемещение ГП влияет наполнение внутренних органов. При полном мочевом пузыре кровь перемещается из малого таза в межпетлевое пространство и латеральные карманы. При наполнении полых органов на фоне пареза (патогенетически связан с раздражением брыжейки при ГП) кровь смещается из межпетлевого пространства и области передней брюшной стенки.

Указанные особенности перемещения ГП не позволяют точно оценить его объем в динамике при использовании анатомических ориентиров. Так, объем может переходить из большого ГП в умеренный и наоборот, при этом фактически он меняться не будет.

В экспериментальном исследовании на трупах Р. Ваке и соавт. (2005) выявили высокий коэффициент корреляции ($r = 0,95$) при обнаружении свободной жидкости в печеночно-почечном пространстве. При этом положение пациента горизонтальное. Однако минимально обнаруживаемый объем жидкости в брюшной полости составил 470 мл (95% ДИ 327–614 мл). При статистическом анализе установлено линейное уравнение для расчета объема свободной жидкости:

$$V \text{ (мл)} = 33X + 470,$$

где X (мм) – толщина полоски свободной жидкости по данным эхонографии в печеночно-почечном пространстве [25].

Предложенное уравнение точно для определения большого объема гидроперитонеума (более 470 мл), также эта формула рассчитана для взрослых пациентов (масса тела 62–80 кг, рост 166–180 см) и не может использоваться в полной мере у детей.

Для подсчета объема ГП используется формула для эллипсоида, которая установлена в ультразвуковых аппаратах. Формула основана на математическом моделировании жидкости как эллипсоида. При малом и умеренном объеме свободная жидкость не принимает форму эллипсоида, и использование этой формулы приводит к большой погрешности при измерении. Предложенные нами поправочные коэффициенты позволяют в значительной степени приблизить полученные объемы ГП по данным УЗИ к истинным.

Важное значение имеет время выполнения УЗИ при ГП. В связи с формированием в поздние сроки после травмы кровяных сгустков, трудно визуализируемых при эхонографии, имеется высокая вероятность ложноотрицательных результатов, что значительно снижает чувствительность метода.

Заключение

На основании полученных результатов проведенного исследования можно сделать вывод, что ультразвуковая диагностика, как метод в определении объема ГП у детей, обладает хорошей информативностью. Разработанные поправочные коэффициенты позволяют улучшить точность расчета объема ГП, что делает данный способ более надежным и практичным в клинической практике. Точность и надежность предложенной формулы были подтверждены высокими диагностическими тестами, что подчеркивает значение данного подхода для диагностики объема ГП у детей.

Полученные результаты открывают новые перспективы для применения ультразвуковой диагностики в педиатрии и могут способствовать улучшению результатов лечения детей с абдоминальной травмой.

Участие авторов

Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора:

Пикало И.А. – обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, организация эксперимента, составление научной базы данных и ее анализ, написание текста статьи.

Подкаменев В.В. – разработка гипотезы и дизайна исследования, редактирование статьи.

Карабинская О.А., Марченко Д.В., Акудович Н.В. – сбор и анализ литературных источников, составление научной базы данных и ее анализ.

Михайлов Н.И., Шарапов И.С. – участие в эксперименте, диагностика объема гемоперитонеума.

Authors' participation

All authors made significant contributions to the conception, conduct of the study and preparation of the article, and read and approved the final version before publication. Personal contribution of each author:

Pikalo I.A. – review of the literature, collection and analysis of literary sources, organization of the experiment, compilation of a scientific database and its analysis, writing the text of the article.

Podkamenev V.V. – development of hypothesis and research design, editing of the article.

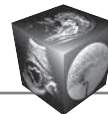


Karabinskaya O.A., Marchenko D.V., Akudovich N.V. – collection and analysis of literary sources, compilation of a scientific database and its analysis.

Mikhailov N.I., Sharapov I.S. – participation in the experiment, diagnostics of the volume of hemoperitoneum.

Список литературы [References]

1. Stottlemire R.L., Notrica D.M., Cohen A.S. et al. Hemodilution in pediatric trauma: Defining the expected hemoglobin changes in patients with liver and/or spleen injury: An ATOMAC+ secondary analysis. *J. Pediatr. Surg.* 2023; 58 (2): 325–329. <http://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2022.10.044>
2. Stefanopol I.A., Danila D.M., Voda-Chelmu C. et al. Non-operative Management – The First Option in the Treatment of Blunt Liver and Spleen Trauma in Pediatric Patients. *Chirurgia (Bucur.)*. 2024; 119 (1): 65–75. <http://doi.org/10.21614/chirurgia.2024.v.119.i.1.p.65>
3. Basnet S., Pradhan A., Bade S. et al. Hemoperitoneum among Pediatric Abdominal Trauma Patients Visiting in Emergency Department of a Tertiary Care Centre: A Descriptive Cross-sectional study. *J. Nepal Med. Assoc.* 2023; 61 (257): 59–63. <http://doi.org/10.31729/jnma.7520>
4. Hassankhani A., Amoukhteh M., Jannatdoust P. et al. A systematic review and meta-analysis of incidental findings in computed tomography scans for pediatric trauma patients. *Clin. Imaging*. 2023; 103: 109981. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2023.109981>
5. Cioffi S.P., Cimbanassi S., Chiara O. Blunt abdominal trauma: watch and wait. *Curr. Opin. Crit. Care*. 2023; 29 (6): 674–681. <http://doi.org/10.1097/MCC.0000000000001095>
6. Hauptmann M., Byrnes G., Cardis E. et al. Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study. *Lancet Oncol.* 2023; 24 (1): 45–53. [http://doi.org/10.1016/S1470-2045\(22\)00655-6](http://doi.org/10.1016/S1470-2045(22)00655-6)
7. Bosch de Basea Gomez M., Thierry-Chef I., Harbron R. et al. Risk of hematological malignancies from CT radiation exposure in children, adolescents and young adults. *Nat. Med.* 2023; 29 (12): 3111–3119. <http://doi.org/10.1038/s41591-023-02620-0>
8. Ploussi A., Brountzos E., Rammos S. et al. Radiation Exposure in Pediatric Interventional Procedures. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2021; 44 (6): 857–865. <http://doi.org/10.1007/s00270-020-02752-7>
9. Fornari M.J., Lawson S.L. Pediatric Blunt Abdominal Trauma and Point-of-Care Ultrasound. *Pediatr. Emerg. Care*. 2021; 37 (12): 624–629. <http://doi.org/10.1097/PEC.0000000000002573>
10. Breunig M., Chelf C., Kashiwagi D. Point-of-Care Ultrasound Psychomotor Learning Curves: A Systematic Review of the Literature. *J. Ultrasound Med.* 2024; Online ahead of print. <http://doi.org/10.1002/jum.16477>
11. Nti B.K., Benzoni N., Starr R. et al. Serial Trauma Abdominal Ultrasound in Children (STAUNCH): A Pilot Study. *Pediatr. Emerg. Care*. 2024; Epub ahead of print. <http://doi.org/10.1097/PEC.0000000000003208>
12. Kim T.A., Kwon J., Kang B.H. Accuracy of Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST) in Blunt Abdominal Trauma. *Emerg. Med. Int.* 2022; 2022: 8290339. <http://doi.org/10.1155/2022/8290339>
13. Bouzid D., Tran-Dinh A., Lortat-Jacob B. et al.; Bichat stab wounds injury study group. Ultrasonography in thoracic and abdominal stab wound injury: results from the FETTHA study. *Emerg. Med. J.* 2023; 40 (12): 821–825. <http://doi.org/10.1136/emmermed-2023-213078>
14. Leo M.M., Potter I.Y., Zahiri M. et al. Using Deep Learning to Detect the Presence and Location of Hemoperitoneum on the Focused Assessment with Sonography in Trauma (FAST) Examination in Adults. *J. Digit. Imaging*. 2023; 36 (5): 2035–2050. <http://doi.org/10.1007/s10278-023-00845-6>
15. Jensen L.R., Posselt-Møller E., Nielsen A.E. et al. Accuracy of FAST in detecting intraabdominal bleeding in major trauma with pelvic and/or acetabular fractures: a retrospective cohort study. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2024; 34 (3): 1479–1486. <http://doi.org/10.1007/s00590-023-03813-6>
16. Lin K.T., Lin Z.Y., Huang C.C. et al. Prehospital ultrasound scanning for abdominal free fluid detection in trauma patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC Emerg. Med.* 2024; 24 (1): 7. <http://doi.org/10.1186/s12873-023-00919-2>
17. Анастасов А.Г., Щербинин А.В., Зубрилова Е.Г. Внутривнутрибрюшное кровоизлияние/шок и особенности гомеостаза у детей с изолированной тупой травмой живота, разрывом селезенки. *Военная и тактическая медицина, медицина неотложных состояний*. 2022; 1 (3): 35–38. <http://doi.org/10.55359/u0344-4105-0080-k>
18. Анастасов А.Г., Щербинин А.В., Зубрилова Е.Г. Intra-abdominal bleeding/shock and features of homeostasis in children with isolated blunt abdominal trauma and splenic rupture. *Military and Tactical Medicine, Emergency Medicine*. 2022; 1 (3): 35–38. <http://doi.org/10.55359/u0344-4105-0080-k> (In Russian)
19. Katsura M., Fukuma S., Kuriyama A. et al. Association between contrast extravasation on computed tomography scans and pseudoaneurysm formation in pediatric blunt splenic and hepatic injury: A multi-institutional observational study. *J. Pediatr. Surg.* 2020; 55 (4): 681–687. <http://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2019.07.005>
20. Savoia P., Jayanthi S.K., Chammas M.C. Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST). *J. Med. Ultrasound*. 2023; 31 (2): 101–106. http://doi.org/10.4103/jmu.jmu_12_23
21. Alvear-Vasquez F., Vidal-Espinoza R., Gomez-Campos R. et al. Body surface area is a predictor of maturity status in school children and adolescents. *BMC Pediatr.* 2023; 23 (1): 410. <http://doi.org/10.1186/s12887-023-04222-8>
22. Knudson M.M., Lim Jr R.C., Oakes D.D., Jeffrey Jr R.B. Nonoperative management of blunt liver injuries in adults: the need for continued surveillance. *J. Trauma*. 1990; 30 (12): 1494–1500. <http://doi.org/10.1097/00005373-199012000-00009>
23. Цап Н.А., Комарова С.Ю., Огарков И.П., Чукреев В.И. Диагностическое и тактическое значение экстренной и динамической ультрасонографии при абдоминальной травме у детей. *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2010; 31 (3): 55–59.
24. Tsap N.A., Komarova S.U., Ogarkov I.P., Chukreev V.I. The diagnostic and tactical significance of emergency and dynamic ultrasonography in case of the abdominal trauma in children. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2010; 31 (3): 55–59 (In Russian)
25. Апарцин К.А., Беляева О.А., Григорьев Е.Г., Ольхова Е.Б., Пикало И.А., Подкаменев В.В., Розин В.М. Травма селезенки. В кн.: Абдоминальные



- травмы у детей / Под ред. В.В. Подкаменева, В.М. Розина, Е.Г. Григорьева, Ю.А. Козлова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019: 72–120.
- Apartsin K.A., Belyaeva O.A., Grigoriev E.G. et al. Spleen injury. In: Abdominal injuries in children / Podkamenev V.V., Rozinov V.M., Grigoriev E.G., Kozlov Yu.A. (eds). M.: GEOTAR-Media; 2019: 72–120 (In Russian)
24. Горелик А.Л., Карасева О.В. Тактика хирурга при травме селезенки у детей. *Opinion Leader*. 2019; 20 (2): 52–57.
- Gorelik A.L., Karaseva O.V. Surgeon's tactics for splenic injury in children. *Opinion Leader*. 2019; 20 (2): 52–57 (In Russian)
25. Baqué P., Iannelli A., Dausse F. et al. A new method to approach exact hemoperitoneum volume in a splenic trauma model using ultrasonography. *Surg. Radiol. Anat.* 2005; 27 (3): 249–253. <http://doi.org/10.1007/s00276-004-0307-2>

Для корреспонденции*: Пикало Илья Андреевич – e-mail: pikalodoc@mail.ru

Пикало Илья Андреевич – канд. мед. наук, заведующий кафедрой симуляционных технологий и экстренной медицинской помощи ФГБОУ ВО “Иркутский государственный медицинский университет” Минздрава России, Иркутск. <https://orcid.org/0000-0002-2494-2735>

Подкаменев Владимир Владимирович – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры симуляционных технологий и экстренной медицинской помощи ФГБОУ ВО “Иркутский государственный медицинский университет” Минздрава России, Иркутск. <https://orcid.org/0000-0003-0885-0563>

Карабинская Ольга Арнольдовна – канд. мед. наук, ассистент кафедры симуляционных технологий и экстренной медицинской помощи ФГБОУ ВО “Иркутский государственный медицинский университет” Минздрава России, Иркутск. <https://orcid.org/0000-0002-0080-1292>

Марченко Дмитрий Владимирович – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры симуляционных технологий и экстренной медицинской помощи ФГБОУ ВО “Иркутский государственный медицинский университет” Минздрава России, Иркутск. <https://orcid.org/0009-0008-9950-9208>

Акудович Наталья Витальевна – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры симуляционных технологий и экстренной медицинской помощи ФГБОУ ВО “Иркутский государственный медицинский университет” Минздрава России, Иркутск. <https://orcid.org/0000-0003-2790-6681>

Михайлов Николай Иванович – канд. мед. наук, заведующий отделением эндоскопии и ультразвуковой диагностики ОГАУЗ “Городская Ивано-Матренинская детская клиническая больница”, Иркутск. <https://orcid.org/0000-0002-7428-3520>

Шарапов Иван Сергеевич – врач ультразвуковой диагностики отделения эндоскопии и ультразвуковой диагностики ОГАУЗ “Городская Ивано-Матренинская детская клиническая больница”, Иркутск. <https://orcid.org/0009-0003-7516-7753>

Contact*: Ilia A. Pikalo – e-mail: pikalodoc@mail.ru

Ilia A. Pikalo – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Simulation Technologies and Emergency Medical Care Irkutsk State Medical University, Irkutsk. <https://orcid.org/0000-0002-2494-2735>.

Vladimir V. Podkamenev – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Simulation Technologies and Emergency Medical Care Irkutsk State Medical University, Irkutsk. <https://orcid.org/0000-0003-0885-0563>

Ol'ga A. Karabinskaya – Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Simulation Technologies and Emergency Medical Care Irkutsk State Medical University, Irkutsk. <https://orcid.org/0000-0002-0080-1292>

Dmitri V. Marchenko – Cand. of Sci. (Med.), Assistant professor of the Department of Simulation Technologies and Emergency Medical Care Irkutsk State Medical University, Irkutsk. <https://orcid.org/0009-0008-9950-9208>

Natalya V. Akudovich – Cand. of Sci. (Med.), Assistant professor of the Department of Simulation Technologies and Emergency Medical Care Irkutsk State Medical University, Irkutsk. <https://orcid.org/0000-0003-2790-6681>

Nikolai I. Mikhailov – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of Endoscopy and Ultrasound Diagnostics, Ivano-Matreninsky City Children Clinical Hospital, Irkutsk. <https://orcid.org/0000-0002-7428-3520>.

Ivan S. Sharapov – ultrasound diagnosis doctor of the Department of Endoscopy and Ultrasound Diagnostics Ivano-Matreninsky City Children Clinical Hospital, Irkutsk. <https://orcid.org/0009-0003-7516-7753>



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1500>

Медицинская визуализация и искусственный интеллект при радиотерапии злокачественных опухолей

© Панышин Г.А.^{1*}, Нуднов Н.В.^{1, 2, 3}

¹ ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

Слияние искусственного интеллекта с медицинской визуализацией является, несомненно, прогрессивным новаторским процессом в современном развитии отечественного здравоохранения, позволяющим обеспечивать беспрецедентную точность и эффективность при диагностике и планировании специального лечения различных заболеваний, в том числе и злокачественных опухолей.

При этом подходы искусственного интеллекта, особенно в области клинического применения радиотерапевтических методик, распространяются все шире и переходят из сферы специализированных исследований в сферу уже принятой традиционной клинической практики.

Цель исследования: проанализировать подходы искусственного интеллекта в области клинического применения радиотерапевтических методик противоопухолевого лечения злокачественных опухолей.

Заключение. Дальнейшее развитие искусственного интеллекта предусматривает обеспечение вариантов профилактики, диагностики и лечения онкологических больных на фоне постоянного повышения точности в их реализации, в том числе и содействие в оптимизации радиотерапевтического лечения злокачественных новообразований.

Ключевые слова: обзор; медицинская визуализация; искусственный интеллект; злокачественные опухоли; радиотерапевтическое лечение

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Панышин Г.А., Нуднов Н.В. Медицинская визуализация и искусственный интеллект при радиотерапии злокачественных опухолей. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (2): 116–126.
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1500>

Поступила в редакцию: 05.09.2024. Принята к печати: 28.10.2024. Опубликовано online: 17.01.2025.

Medical imaging and artificial intelligence in radiotherapy of malignant tumors

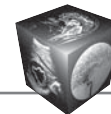
Georgy A. Panshin^{1*}, Nikolay V. Nudnov^{1, 2, 3}

¹ Russian Scientific Center of Roentgenradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

The fusion of artificial intelligence with medical imaging is undoubtedly a progressive innovative process in the modern development of domestic healthcare, which allows for unprecedented accuracy and efficiency in the diag-



nosis and planning of special treatment of various diseases, including malignant tumors. At the same time, artificial intelligence approaches, especially in the field of clinical application of radiotherapy techniques, are spreading more widely and moving from the field of specialized research to the field of already accepted traditional clinical practice.

Purpose of the study: to analyze the approaches of artificial intelligence in the field of clinical application of radiotherapy techniques for the antitumor treatment of malignant tumors.

Conclusion. The further development of artificial intelligence provides for the provision of options for the prevention, diagnosis and treatment of cancer patients against the background of a constant increase in accuracy in their implementation, including assistance in optimizing radiotherapeutic treatment of malignant neoplasms.

Keywords: review; medical imaging; artificial intelligence; malignant tumors; radiotherapy treatment

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Panshin G.A., Nudnov N.V. Medical imaging and artificial intelligence in radiotherapy of malignant tumors. *Medical Visualization*. 2025; 29 (2): 116–126. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1500>

Received: 05.09.2024.

Accepted for publication: 28.10.2024.

Published online: 17.01.2025.

Введение

Слияние искусственного интеллекта (ИИ) с медицинской визуализацией является, несомненно, прогрессивным новаторским процессом в современном развитии отечественного здравоохранения, позволяющим обеспечивать беспрецедентную точность и эффективность при диагностике и планировании специального лечения различных заболеваний, в том числе и злокачественных опухолей. При этом медицинская визуализация на базе ИИ в настоящее время совершает поистине своего рода революцию в сфере клинической онкологии, помогая врачам предоставлять своим пациентам более точные, обоснованные и персонализированные варианты диагностики, подготовки и проведения специального противоопухолевого лечения, в том числе и с применением современных высокотехнологичных радиотерапевтических технологий.

В этом плане подходы ИИ, особенно в области клинического применения радиотерапевтических методик, распространяются все шире и переходят из сферы специализированных исследований в сферу уже принятой традиционной клинической практики.

Автоматизация и анализ больших клинических данных открыли новую эру лечения онкологических больных с убедительной точностью и прогнозированием конечных результатов специального лечения. При этом продолжающееся увеличение вычислительной мощности вместе с повышением прецизионности специального лечения злокачественных опухолей может привести к значительному прогрессу в улучшении результатов неинвазивного эффективного терапевтического воздействия на онкологических больных и, как окончательный результат, увеличению продолжительности их жизни.

В целом интеграция ИИ с современными технологиями радиотерапии может ознаменовать бес-

прецедентные передовые изменения в области клинической онкологии.

В данной статье кратко обобщается использование ИИ в радиотерапии с упором на точку зрения клинициста, а не на технические аспекты разработки ИИ.

Основная часть

11 октября 2019 г. Президент России В.В. Путин подписал указ, утвердивший национальную стратегию развития ИИ на период до 2030 г. Указ предписывает Правительству обеспечить внесение всех необходимых изменений в Национальную программу “Цифровая экономика” и подразумевает в том числе разработку и утверждение федерального проекта “Искусственный интеллект”.

“Искусственный интеллект” – это общий термин, который подразумевает использование компьютера для моделирования разумного поведения с минимальным вмешательством человека. В целом ИИ – это технология, которая пытается думать как люди и имитировать человеческое поведение.

В настоящее время ИИ присутствует во многих областях общественной жизни. При этом значительная часть цифровых данных, генерируемых в здравоохранении, может быть использована для создания автоматизированных систем для улучшения существующих лечебных процессов и создания более персонализированного медицинского опыта для пациентов, в том числе и для онкологических больных.

На сегодняшний день во всем мире злокачественные новообразования являются глобальной и первостепенной проблемой здравоохранения, так как ежегодно диагностируется более 18 млн случаев онкологических заболеваний и одновременно 9,6 млн случаев смерти от его прогрессирования [1].



Следует подчеркнуть, что бурное развитие современной клинической онкологии всегда находилось в связи с постоянным совершенствованием и возрастанием роли различных противоопухолевых, в том числе и радиотерапевтических, технологий. При этом в последнее время в результате технологических достижений в планировании и проведении современной радиотерапии был достигнут ряд вполне определенных эффективных терапевтических результатов.

В этом плане в настоящее время ИИ находится в революционном процессе, касающемся в том числе и проведения противоопухолевого радиотерапевтического лечения онкологическим больным. При этом будущее его дальнейшего развития предусматривается в совершенствовании современной диагностики, проведении высокотехнологичной адаптивной радиотерапии и поддержке запланированных клинических решений, особенно учитывая тот факт, что он может аккумулировать и обрабатывать за разумный период времени намного большие объемы данных, чем обычный человек.

В частности, подходы ИИ, особенно в области клинического применения радиотерапевтических методик, распространяются все шире и переходят из сферы специализированных исследований в сферу уже принятой традиционной клинической практики. В этом плане автоматизация и анализ больших клинических данных открыли новую эру лечения онкологических больных с убедительной точностью и прогнозированием конечных результатов специального лечения. При этом продолжающееся увеличение вычислительной мощности вместе с повышением прецизионности специального, в том числе и радиотерапевтического, лечения злокачественных опухолей может привести к значительному прогрессу в улучшении результатов неинвазивного терапевтического воздействия на онкологических больных и увеличению продолжительности их жизни. В целом интеграция ИИ с современными технологиями радиотерапии может, в конечном итоге, ознаменовать беспрецедентные передовые изменения в области клинической онкологии.

Искусственный интеллект

С концептуальной точки зрения ИИ можно разделить на две основные категории: итеративную оптимизацию [2], также известную как вычислительный подход, и машинное обучение, которое, в свою очередь, включает в себя глубокое обучение, напоминающее схему матрешки [3].

В настоящее время ИИ рассматривают в качестве альтернативы на многих этапах проведения

радиотерапевтического лечения онкологических больных, правда, пока еще полностью зависящих от человека, в связи с чем предполагающего наличие возможных неопределенностей в процессе проведения радиотерапевтического лечения.

При этом полный потенциал применения ИИ во всем рабочем процессе проведения радиотерапии пока еще не до конца понятен, а потенциальные этические, юридические и профессиональные барьеры могут в какой-то мере ограничить или отложить на неопределенное время его окончательную реализацию в клинической практике.

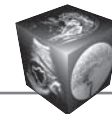
Следует отметить, что в последние десятилетия инструменты ИИ стали применяться во многих областях медицины, открывая возможность поиска новых решений урегулирования очень сложных и многофакторных проблем, в том числе и тех, которые обычно встречаются в радиотерапии.

Необходимо подчеркнуть, что быстрая разработка новых решений на основе ИИ, применяемых в радиотерапии, несомненно повлияет на повседневную клиническую практику радиотерапевтов, например на автоматическое определение нормальных тканей и целевых объемов или оптимизацию плана радиотерапевтического лечения. Тем не менее, несмотря на то что стратегии ИИ используют передовые статистические методы и сложные алгоритмы, которые часто не до конца понятны сотрудникам отделений радиотерапии, существует вполне определенный риск их использования в качестве инструментов “черного ящика” [4].

Вместе с тем в любом случае инструменты ИИ следует рассматривать как компьютерные помощники для персонала отделений радиотерапии, который все равно по-прежнему будет оставаться основным ответственным за курацию пациентов.

Радиотерапия (планирование)

В целом планирование радиотерапевтического лечения представляет собой процесс взаимодействия человека и компьютера, направленный на решение задачи оптимизации проводимого лучевого лечения. При этом целью задачи оптимизации является создание адекватного плана специального лечения, по возможности оптимально удовлетворяющего таким условиям, при которых доза, доставляемая в опухоль, достигает предписанной, а доза для нормальных органов и тканей является как можно более низкой. Для достижения этой цели радиотерапевт задает компьютеру первоначальную цель оптимизации, включая максимальную дозу, доставляемую в опухоль, переносимую дозу для различных нормальных органов и другие условия оптимизации лучевого лечения.



Для достижения этой цели компьютер обновляет параметры плана лечения, такие, например, как углы гентри линейного ускорителя или формы многолепесткового коллиматора. В ходе этого процесса радиотерапевт решает, достигает ли план лечения своего оптимального значения и, при необходимости, определяет, как скорректировать цель оптимизации, чтобы получить более адекватный для данного конкретного случая план специального лечения. В конечном итоге, это означает, что качество плана лечения зависит от профессионального опыта радиотерапевта и, следовательно, в какой-то мере может порождать развитие факторов неопределенности качества.

Вместе с тем этот метод отличается высокой вариабельностью и отнимает у планирующего лечение персонала много рабочего времени и может быть значительно сокращен за счет ИИ, то есть машины, думающей как люди [5].

В принципе процесс проведения радиотерапии можно разделить на ряд различных разделов его реализации: визуализация, планирование лечения, моделирование, применение аксессуаров для проведения радиотерапии, непосредственная доставка дозы радиации к облучаемому объему тканей, проверка адекватности проведенного этапа радиотерапии и мониторинг пациентов [6].

В общем и целом данный процесс состоит из трех важнейших этапов его воплощения в реальной практической деятельности радиотерапевтических отделений: подготовка, исполнение и оценка полученных результатов. При этом на сегодняшний день ИИ обеспечивает поддержку точного и эффективного проведения всех рабочих радиотерапевтических этапов специального лечения онкологических больных. В этом плане этап подготовки к проведению радиотерапии в виде определения общего целевого объема облучаемых тканей и органов риска является первой целью вклада ИИ в общую процедуру подготовки пациента к облучению, поскольку именно этот этап представляет собой наиболее трудоемкий и субъективный процесс для специалистов, планирующих лучевое лечение [7].

При этом обычно он начинается с сегментации (обработки) получаемых изображений, направленной на определение адекватных для данного конкретного клинического случая облучаемых объемов тканей и органов риска с последующей реализацией процессов дозиметрического планирования, оптимизации и проведения адаптивной радиотерапии онлайн, а затем оценкой и прогнозированием окончательных результатов проведенного радиотерапевтического лечения.

Сегментация изображений

На сегодняшний день одним из наиболее важных этапов подготовки к проведению процесса радиотерапии, а также решению трудоемких задач при его планировании является процесс сегментации получаемых изображений, направленный на определение в каждом конкретном клиническом случае адекватных объемов облучаемых тканей и органов риска. Следует отметить, что с момента появления компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) и их использования при планировании лучевого лечения радиотерапевты и медицинские физики тратили достаточно много времени на определение контуров мишеней и органов риска. В этом плане методы на основе ИИ показали вполне определенный потенциал для сегментации медицинских изображений, ориентированный на обнаружение целей и других задач с использованием ранее ручной сегментации, выполняемой опытными радиотерапевтами, диагностами и медицинскими физиками в качестве основной истины [8–10].

Следует особо подчеркнуть, что сегментация изображений представляет собой, в частности, рабочий процесс радиотерапевтического лечения онкологических больных, который характеризуется значительной вариабельностью, причем даже не только внутри каждого отделения радиотерапии, но и между различными медицинскими учреждениями онкологического профиля [8].

Это обстоятельство имеет решающее значение для разработки адекватных планов радиотерапевтического лечения, поскольку они оцениваются и оптимизируются на основе контурированных областей с соблюдением официально утвержденных и узаконенных ограничений дозы и объемов облучаемых тканей при различных формах и проявлениях опухолевого процесса. Таким образом, показатели распределения поглощенной дозы зависят от точности и целостности контуров, используемых для идентификации целевых и нормальных органов и тканей. В этом плане возможность использования процесса сегментации на основе ИИ может уменьшить существующую вариативность в этом вопросе между различными группами радиотерапевтов, касающуюся, в частности, определения органов риска и облучаемых целевых объемов тканей.

При этом следует особо подчеркнуть, что ручная сегментация представляет собой весьма трудоемкий процесс, который в целом, несомненно, влияет на график работы радиотерапевтического отделения. При этом время, необходимое для выполнения этой задачи, актуально не только для



базовых изображений планирования с помощью КТ и МРТ, но также для проведения автономной или онлайн-адаптивной радиотерапии, требующей повторных компьютерных изображений или проведения ежедневной конусно-лучевой КТ. При этом временная задержка между получением изображения и ручной сегментацией может длиться иногда весьма неопределенное количество времени, что может быть несовместимо с онлайн-процессом адаптации, поскольку за это время цели и органы риска по разным причинам могут измениться по своему объему и анатомическому расположению [8].

Следует отметить, что на сегодняшний день инструменты сегментации на основе ИИ уже применяются к различным анатомическим областям, таким как головной мозг [9, 10, 11], голова и шея [12, 13, 14], грудная клетка (включая сегментацию легких) [15–18], молочные железы [19, 20], брюшная полость [21–26], а также женский или мужской таз [27, 28].

Вместе с тем необходимо подчеркнуть следующее: в связи с тем что индивидуальный дозиметрический план лучевого лечения должен быть наиболее адекватным в каждом конкретном клиническом случае, стандартизация контуров облучаемого объема тканей при различных локализациях опухолевого процесса становится все более важной и целенаправленной задачей в клинической радиотерапии.

В принципе использование ИИ для автоматической сегментации может создать контуры очага поражений и органов риска с ожидаемым более высоким соответствием международным рекомендациям, уменьшая тем самым вероятные различия в их интерпретации различными специалистами-радиотерапевтами, особенно в многоцентровом контексте [29–33].

Хотелось бы также остановиться и на следующем факторе применения ИИ при радиотерапии. Когда ИИ очерчивает вместо человека предполагаемый контур плана облучения, клинический рабочий процесс при необходимости еще можно эффективно изменить. Однако при этом в первую очередь первоначально надо быть уверенным в том, насколько адекватен предлагаемый ИИ этот план, поскольку реальная точность его составления напрямую коррелирует с последующей точностью расчета планируемой дозы облучения и соответствующей оценкой результатов проведенного специального лечения, то есть оценкой результатов работы в целом, проделанной ИИ.

Таким образом, необходимо подчеркнуть, что стандартизация контуров облучаемого объема тканей при различных локализациях опухолевого

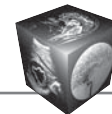
процесса становится все более важной и целенаправленной задачей. И хотя в различных странах были созданы атласы контурирования для стандартизации этого процесса, составление планов лучевого лечения все-таки, в конечном итоге, зависит от индивидуальных предпочтений и профессионального опыта специалистов по планированию [34–43].

При этом, чтобы повысить точность автоматической сегментации на основе нескольких атласов, рекомендуется проанализировать большое число атласов, чтобы выбрать те, которые наиболее похожи на конкретное целевое изображение. Таким образом, один из подходов к повышению точности автоматической сегментации на основе нескольких атласов заключается в том, чтобы система выбирала атласы, похожие на целевой случай, путем считывания большего количества данных.

В этом плане, например, В. Schipaanboord и соавт. сообщили, что производительность автоконтурирования на уровне, соответствующем адекватному клиническому качеству, можно последовательно ожидать при наличии базы данных из 5000 атласов при условии идеального их подбора [44]. При этом в качестве познавательного примера, можно представить следующую ситуацию. Например, Н. Numasaki и соавт. сообщили, что число пациентов, впервые получивших радиотерапевтическое лечение в Японии в 2019 г., составило 237 000 человек [45]. Вместе с тем, если бы данные контуров облучаемых объемов тканей и органов риска всех пролеченных с применением радиотерапии пациентов в Японии собрать воедино, можно было бы создать единый высокоточный, в какой-то мере, всеобъемлющий контурный атлас, однако это заняло бы неизмеримо много времени.

Таким образом, существует несколько проблем со стандартизацией планов сегментации и последующим проведением лучевого лечения. В связи с этим было предпринято несколько попыток сократить время, необходимое для планирования радиотерапевтического лечения, одновременно продвигая стандартизацию за счет внедрения автоматизации на основе ИИ [46–49].

В целом использование методов ИИ может обеспечивать оптимизированные и эффективные решения с минимальной ошибкой, предлагая беспрецедентные преимущества в повышении эффективности и согласованности определения целевых показателей при проведении радиотерапии. При этом сверточная нейронная сеть является разновидностью глубокого обучения и дает лучшие результаты при сегментации медицинских изобра-



жений, поскольку она нечувствительна к шуму изображения, размытости и контрасту и в настоящее время является одним из наиболее успешных алгоритмов для его проведения [10, 31, 50].

Прогнозирование результата специального лечения

Прогнозирование результатов радиотерапевтического лечения является одним из основных применений методов ИИ, в основном касающихся использования комплекса методов машинного обучения. При этом в последние годы в научной литературе значительно увеличилось количество публикаций по проблеме прогнозирования результатов специального лечения онкологических больных, многие из которых были посвящены вопросам радиотерапии [51–56].

В этом плане примеры конкретных областей, подвергшихся применению радиотерапии с последующим прогнозированием исходов ее реализации, которые уже были в свое время проработаны с помощью инструментов ИИ, включают общую выживаемость онкологических больных [57], прогрессирование основного заболевания [58], рецидив опухолевого процесса [59], токсичность проведенного специального лечения [60–62], идентификацию биомаркеров [63], обнаружение и классификацию опухолей [64, 65], прогнозирование мутаций и ответ на проведенное лечение [66–68], определение рисков лечения [69] и качества жизни [70].

Следует также подчеркнуть, что при этом значительно возросли различные отчеты именно о радиомике в прогнозировании результатов специального лечения онкологических больных, в том числе и в области применения радиотерапии [71]. При этом в многочисленных исследованиях было продемонстрировано создание моделей прогнозирования с использованием текстурных особенностей, правда, в рамках ретроспективного анализа одного учреждения с использованием изображений T2W или карты DWI/ADC в MPT, а также с использованием набора для обучения и проверки. В этом плане хотя и сообщалось о полученных некоторых весьма многообещающих результатах, в то же время области интереса обычно контурировались вручную, а их одноцентровый характер без внешней проверки означает, что в целом их универсальность ограничена, и, не входя в подробности, можно констатировать, что пока еще невозможно пропагандировать стандартизированную оценку эффективности радиомикроники на основе имеющихся в настоящее время данных [72–74].

Однако, в принципе, ручную сегментацию можно заменить автоматической сегментацией на ос-

нове ИИ, отличающейся экономией времени, точностью и последовательностью реализации.

В то же время, в целом, для адекватного прогнозирования репрезентативных результатов проводимого радиотерапевтического лечения необходима обработка больших объемов данных за счет их интеграции с получаемой информацией, отличной от уже имеющихся изображений, и учитывающих, помимо прочего, общее состояние больного, возможное применение ранее каких-либо лекарственных средств, в том числе даже и лучевого лечения, а также любую другую биографическую информацию о пациенте.

Будущие перспективы

Как известно, для проведения соответствующих клинических исследований значительное количество времени тратится на централизованную оценку радиотерапевтических планов лечения. Если при этом будет достигнута возможность авто-сегментации органов риска с необходимыми ограничениями по дозе, это не только упростит общий процесс подготовки к проведению радиотерапии, но и позволит в последующем весьма адекватно оценить эффективность проведенного лечения. Наконец, в целом, этот подход может облегчить оценку истинной адекватности подводимой дозы и обеспечить основу для выбора в каждой конкретной клинической ситуации необходимой наиболее эффективной индивидуальной дозы облучения.

Еще одним перспективным направлением является разработка крупномасштабных языковых моделей (вычислительная модель, состоящая из нейронной сети с множеством параметров) и их применение в радиотерапии. Следует подчеркнуть, что за последние несколько лет значительный прогресс был уже достигнут, в первую очередь, именно в развитии языковых моделей. Ожидается, что в радиотерапии дальнейшее развитие этого направления внесет значительный вклад в область прогнозирования результатов проводимого радиотерапевтического лечения. При этом не исключено, что разрабатываемые модели ИИ, направленные, в целом, на обеспечение индивидуального прогноза по проводимому специальному лечению онкологических больных и, в частности, на повышение эффективности их персонализированного радиотерапевтического лечения, в последующем могут быть интегрированы в существующие информационные системы здравоохранения в качестве практической модели клинического прогнозирования при других заболеваниях человека, помогающие врачам разрабатывать более эффективные современные патогенетические программы лечения.



Таким образом, в последние годы ИИ показывает себя весьма многообещающе во многих областях медицины, в том числе при подготовке и проведении радиотерапии в клинической онкологии. При этом получаемые результаты демонстрируют повышение производительности, экономию времени и потенциал снижения рабочей нагрузки.

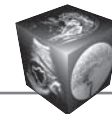
В то же время возможность значительно сократить время, в частности, от сегментации до непосредственного дозиметрического планирования самого процесса радиотерапевтического лечения злокачественных опухолей с использованием ИИ, является одной из основных задач современной клинической онкологии при проведении одного из важнейших этапов специализированного противоопухолевого лечения злокачественных опухолей в виде применения радиотерапии. Вместе с тем все еще необходимы усилия по устранению существующих до настоящего времени вполне определенных разногласий между различными группами специалистов по планированию радиотерапевтического лечения, касающихся, в частности, сегментации объема облучаемых тканей, что остается одной из текущих локальных проблем в этом плане при проведении лучевого лечения онкологических больных. При этом возможность использовать ИИ также и для сегментации органов риска является большим преимуществом в повседневной радиотерапевтической практике, что позволяет также сыграть весьма важную роль в стандартизации противоопухолевого лечения при проведении крупномасштабных клинических исследований. В этом плане в настоящее время при планировании радиотерапии уже делается попытка стандартизировать дозу, воздействующую на опухоль, одновременно налагая определенные ограничения на дозу для органов риска, но различия в сегментации на начальном этапе могут повлиять на окончательную оценку результатов проведенного специального лечения. Однако следует отметить, что, в целом, применение ИИ в радиотерапии все еще находится на ранней стадии своей реализации. При этом считается, что ИИ может более широко применяться в сфере клинической радиотерапии, решая проблемы интерпретируемости и точности посредством будущих исследований.

Вместе с тем внедрение ИИ в планирование радиотерапии вызывает, помимо прочего, и определенную обеспокоенность по поводу сокращения вмешательства человека в его процессы, так как без достаточно глубоких знаний о том, как работает эта новая технология, гарантирующая, в том

числе, и точное соблюдение гарантии качества радиотерапевтического лечения при ее реализации, ее потенциально можно рассматривать как метод “черного ящика”, результаты которого невозможно проверить в качестве как весьма логичных, так исключительно правдоподобных [75, 76].

Следует также отметить, что в настоящее время методологии расчета вероятности контроля над опухолевым процессом и развитием возможных радиационных осложнений со стороны нормальных тканей при проведении радиотерапии злокачественных опухолей в значительной степени зависят от радиобиологических моделей, способствующих разработке персонализированных и более точных инструментов, в частности для прогнозирования токсичности проводимого облучения с целью оптимизации самого процесса радиотерапевтического лечения. При этом существующие модели, как правило, используют для этих целей данные гистограммы доза–объем (DVH), демонстрирующие в то же время определенные ограничения, поскольку они чрезмерно упрощают другие сложные биологические процессы, упуская из виду такие факторы, как гетерогенность опухоли, механизмы, специфичные для органа или ткани, и личностные характеристики пациента. Для устранения этих недостатков текущие исследования направлены на улучшение этих моделей путем интеграции неопределенностей, тем самым способствуя более тонкому клиническому суждению в контексте планирования лучевого лечения. Одновременно с этим ведутся исследования, направленные на совершенствование традиционных радиобиологических моделей путем включения неопределенностей для улучшения клинической оценки при планировании облучения с учетом сложности биологических процессов и индивидуальных факторов, специфичных для пациента. При этом появление машинного обучения в радиотерапии для принятия обоснованных решений в виде, например, использования искусственной нейронной сети, продемонстрировало значительный прогресс в областях прогнозирования результатов радиотерапевтического лечения больных, а также количественной оценки риска его реализации.

В целом дальнейшее развитие ИИ может не только обеспечить варианты профилактики, диагностики и лечения онкологических больных, но также способствовать постоянному повышению точности в их реализации и, в конечном итоге, содействовать оптимизации радиотерапевтического лечения злокачественных новообразований.



Заключение

В настоящее время инструменты на основе ИИ постепенно включаются в план развития радиотерапии онкологических учреждений и применяются во всем рабочем процессе, в основном для сегментации, создания синтетических изображений и прогнозирования результатов. При этом поднимается ряд проблем, в том числе необходимость гармонизации и повышения квалификации сотрудников радиотерапевтических отделений, чтобы разрешить целевое использование инструментов ИИ в клинической практике и избежать тестирования по стратегии «черного ящика».

И хотя в настоящее время ИИ сталкивается с многочисленными нерешенными проблемами в области технологий, управления, экономики и общественного применения, он показывает себя многообещающе, в частности, в практике реализации в области лучевого лечения злокачественных новообразований. Его практическое применение освобождает радиотерапевтов от утомительной работы и предоставляет больше времени для общения с пациентами и участия в научно-исследовательской работе. При этом снижаются затраты и улучшается качество медицинского обслуживания и, таким образом, потенциально повышается уровень оказания онкологической помощи населению России.

В целом следует отметить, что для разработки и внедрения надежных и заслуживающих доверия инструментов ИИ несомненно необходимо тесное сотрудничество между врачами-радиотерапевтами и экспертами по ИИ.

Участие авторов

Паньшин Г.А. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи, подготовка, создание опубликованной работы.

Нуднов Н.В. – сбор и статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Authors' participation

Panshin G.A. – concept and design of the study, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article, preparation and creation of the published work.

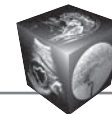
Nudnov N.V. – collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Список литературы [References]

1. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology (2020) Available at https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/default.aspx#site [Accessed on 05 May 2020].
2. Hussein M., Heyman B.J.M., Verellen D., Nisbet A. Automation of intensity modulated radiotherapy treatment planning – a review of recent innovations. *Br. J. Radiol.* 2018; 91: 20180270. <http://doi.org/10.1259/bjr.20180270>
3. Barragan-Montero A., Javadi U., Valdez G. et al. Artificial intelligence and machine learning for medical imaging: a review of technologies. *Phys. Med.* 2021; 83: 242–256. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.04.016>
4. Price W.N. II. Regulating Black-Box Medicine. *Mich. Law. Rev.* 2017; 116 (3): 421–474. <https://doi.org/10.36644/mlr.116.3.regulation>
5. Byun H., Yu S., Oh J. et al. An Assistive Role of a Machine Learning Network in Diagnosis of Middle Ear Diseases. *J. Clin. Med.* 2021; 10 (15): 3198. <http://doi.org/10.3390/jcm10153198>
6. Hoo VS. Radiotherapeutic methods for prostate cancer, dose escalation and brachytherapy. *Clin. Oncol.* 2005; 17 (7): 560–571. <http://doi.org/10.1016/J.CLON.2005.07.006>
7. Liu Z., Liu X., Guan H. et al. Development and validation of a deep learning algorithm for auto-delineation of clinical target volume and organs at risk in cervical cancer radiotherapy. *Radiother. Oncol.* 2020; 153: 172–179. <http://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.09.060>
8. Li X., Chen H., Qi X. et al. H-DenseUNet: Hybrid Densely Connected UNet for Liver and Tumor Segmentation From CT Volumes. *IEEE Trans. Med. Imaging.* 2018; 37 (12): 2663–2674. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1709.07330>
9. Chen L., Bentley P., Mori K. et al. DRINet for Medical Image Segmentation. *IEEE Transactions on Medical Imaging.* 2018; 37 (11): 2453–2462. <https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2835303>
10. Feng C.H., Cornell M., Moore K.L. et al. Automated contouring and planning pipeline for hippocampal-avoidant whole-brain radiotherapy. *Radiat. Oncol.* 2020; 15 (1): 251. <https://doi.org/10.1186/s13014-020-01689-y>
11. Pan Q., Zhao L., Gu S. et al. Deep learning-based automatic hippocampal detection from MRI: geometric and dosimetric evaluation. *Radiat. Oncol.* 2021; 16 (1): 12. <https://doi.org/10.1186/s13014-020-01724-y>
12. Tong N., Gou S., Yang S. et al. Fully automatic multi-organ segmentation for head and neck cancer radiotherapy using shape representation model constrained fully convolutional neural networks. *Med. Phys.* 2018; 45 (10): 4558–4567. <https://doi.org/10.1002/mp.13147>
13. Tong N., Gou S., Yang S. et al. Fully convolutional DenseNet with form restriction and competitive training of multi-organ segmentation on CT of the head and neck and MRI with a low field of view. *Med. Phys.* 2019; 46 (6): 2669–2682. <https://doi.org/10.1002/mp.13553>
14. Nelms B.E., Tomé W.A., Robinson G., Wheeler J. Variations in the contouring of organs at risk: test case from a patient with oropharyngeal cancer. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2012; 82 (1): 368–378. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2010.10.019>
15. Nemoto T., Futakami N., Yagi M. et al. Efficacy evaluation of 2D, 3D U-Net semantic segmentation and atlas-based segmentation of normal lungs excluding the trachea and main bronchi. *J. Radiat. Res.* 2020; 61 (2): 257–264. <https://doi.org/10.1093/jrr/rz086>



16. Wong J., Huang V., Giambattista J.A. et al. Training and Validation of Deep Learning-Based Auto-Segmentation Models for Lung Stereotactic Ablative Radiotherapy Using Retrospective Radiotherapy Planning Contours. *Front. Oncol.* 2021; 11: 626499. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.626499>
17. Men K., Geng H., Biswas T. et al. Automated Quality Assurance of OAR Contouring for Lung Cancer Based on Segmentation With Deep Active Learning. *Front. Oncol.* 2020; 10: 986. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.00986>
18. Gu H., Gan W., Zhang Q. et al. A 2D-3D hybrid convolutional neural network for autosegmentation of lung lobes in standard-thickness computed tomography scans of patients receiving radiotherapy. *Biomed. Eng. Online.* 2021; 20 (1): 94. <https://doi.org/10.1186/s12938-021-00932-1>
19. Liu Z., Liu F., Chen W. et al. Automatic Segmentation of Clinical Target Volumes for Post-Modified Radical Mastectomy Radiotherapy Using Convolutional Neural Networks. *Front. Oncol.* 2021; 10: 581347. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.581347>
20. Choi M.S., Choi B.S., Chung S.Y. et al. Clinical evaluation of atlas- and deep learning-based automatic segmentation of multiple organs and clinical target volumes for breast cancer. *Radiother. Oncol.* 2020; 153: 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.09.045>
21. Xia X., Wang J., Li Y. et al. An Artificial Intelligence-Based Full-Process Solution for Radiotherapy: A Proof of Concept Study on Rectal Cancer. *Front. Oncol.* 2021; 10: 616721. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.616721>
22. Savenije M.H.F., Maspero M., Sikkens G.G. et al. Clinical implementation of MRI-based organs-at-risk auto-segmentation with convolutional networks for prostate radiotherapy. *Radiat. Oncol.* 2020; 15 (1): 104. <https://doi.org/10.1186/s13014-020-01528-0>
23. Sartor H., Minarik D., Enqvist O. et al. Auto-segmentations by convolutional neural network in cervical and anorectal cancer with clinical structure sets as the ground truth. *Clin. Transl. Radiat. Oncol.* 2020; 25: 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2020.09.004>
24. Cha E., Elguindi S., Onochie I. et al. Clinical implementation of deep learning contour autosegmentation for prostate radiotherapy. *Radiother. Oncol.* 2021; 159: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2021.02.040>
25. Ma C.Y., Zhou J.Y., Xu X.T. et al. Deep learning-based auto-segmentation of clinical target volumes for radiotherapy treatment of cervical cancer. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 2022; 23 (2): e13470. <https://doi.org/10.1002/acm2.13470>
26. Byrne M., Archibald-Heeren B., Hu Y. et al. Varian ethos online adaptive radiotherapy for prostate cancer: Early results of contouring accuracy, treatment plan quality, and treatment time. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 2022; 23 (1): e13479. <https://doi.org/10.1002/acm2.13479>
27. Sibolt P., Andersson L.M., Calmels L. et al. Clinical implementation of artificial intelligence-driven cone-beam computed tomography-guided online adaptive radiotherapy in the pelvic region. *Phys. Imaging Radiat. Oncol.* 2020; 17: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.phro.2020.12.004>
28. Lawton C.A., Michalski J., El-Naqa I. et al. RTOG GU Radiation oncology specialists reach consensus on pelvic lymph node volumes for high-risk prostate cancer. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2009; 74 (2): 383–387. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2008.08.002>
29. Choi M.S., Choi B.S., Chung S.Y. et al. Clinical evaluation of atlas- and deep learning-based automatic segmentation of multiple organs and clinical target volumes for breast cancer. *Radiother. Oncol.* 2020; 153: 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.09.045>
30. Liang F., Qian P., Suh. et al. An abdominal, multi-organ automatic design method for online adaptive radiotherapy under magnetic resonance control: an intelligent multi-level approach to fusion. *Artif. Intel. Med.* 2018; 90: 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2018.07.001>
31. Sartor H., Minarik D., Enqvist O. et al. Auto-segmentations by convolutional neural network in cervical and anorectal cancer with clinical structure sets as the ground truth. *Clin. Transl. Radiat. Oncol.* 2020; 25: 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2020.09.004>
32. Cha E., Elguindi S., Onochie I. et al. Clinical implementation of deep learning contour autosegmentation for prostate radiotherapy. *Radiother. Oncol.* 2021; 159: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2021.02.040>
33. Ma C.Y., Zhou J.Y., Xu X.T. et al. Deep learning-based auto-segmentation of clinical target volumes for radiotherapy treatment of cervical cancer. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 2022; 23 (2): e13470. <https://doi.org/10.1002/acm2.13470>
34. Lin D., Lapen K., Sherer M.V. et al. A Systematic Review of Contouring Guidelines in Radiation Oncology: Analysis of Frequency, Methodology, and Delivery of Consensus Recommendations. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2020; 107 (4): 827–835. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2020.04.011>
35. Ohno T., Wakatsuki M., Toita T. et al. The Working Group of the Gynecological Tumor Committee of the Japanese Radiation Oncology Study Group (JROSG). Recommendations for high-risk clinical target volume definition with computed tomography for three-dimensional image-guided brachytherapy in cervical cancer patients. *J. Radiat. Res.* 2017; 58 (3): 341–350. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrw109>
36. Lee A.W., Ng W.T., Pan J.J. et al. International guideline for the delineation of the clinical target volumes (CTV) for nasopharyngeal carcinoma. *Radiother. Oncol.* 2018; 126 (1): 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2017.10.032>
37. Robin S., Jolicœur M., Palumbo S. et al. Prostate Bed Delineation Guidelines for Postoperative Radiation Therapy: On Behalf Of The Francophone Group of Urological Radiation Therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2021; 109 (5): 1243–1253. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2020.11.010>
38. Kaidar-Person O., Vrou Offersen B., Hol S. et al. ESTRO ACROP consensus guideline for target volume delineation in the setting of postmastectomy radiation therapy after implant-based immediate reconstruction for early stage breast cancer. *Radiother. Oncol.* 2019; 137: 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2019.04.010>
39. Niyazi M., Andratschke N., Bendszus M. et al. ESTRO-EANO guideline on target delineation and radiotherapy details for glioblastoma. *Radiother. Oncol.* 2023; 184: 109663. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2023.109663>
40. Small W. Jr., Bosch W.R., Harkenrider M.M. et al. NRG Oncology/RTOG Consensus Guidelines for Delineation of Clinical Target Volume for Intensity Modulated Pelvic Radiation Therapy in Postoperative Treatment of Endometrial and Cervical Cancer: An Update. *Int. J. Radiat.*



- Oncol. Biol. Phys.* 2021; 109 (2): 413–424.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2020.08.061>
41. Iwai Y., Nemoto M.W., Horikoshi T. et al. Comparison of CT-based and MRI-based high-risk clinical target volumes in image guided-brachytherapy for cervical cancer, referencing recommendations from the Japanese Radiation Oncology Study Group (JROSG) and consensus statement guidelines from the Groupe Européen de Curiethérapie-European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (GEC ESTRO). *Jpn. J. Radiol.* 2020; 38 (9): 899–905.
<https://doi.org/10.1007/s11604-020-00980-y>
 42. Damico N., Meyer J., Das P. et al. MECOG-ACRIN Guideline for Contouring and Treatment of Early Stage Anal Cancer Using IMRT/IGRT. *Pract. Radiat. Oncol.* 2022; 12 (4): 335–347.
<https://doi.org/10.1016/j.prro.2022.01.015>
 43. Joskowicz L., Cohen D., Caplan N., Sosna J. Inter-observer variability of manual contour delineation of structures in CT. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (3): 1391–1399.
<https://doi.org/10.1007/s00330-018-5695-5>
 44. Schipaanboord B., Boukerroui D., Peressutti D. et al. Can atlas-based auto-segmentation ever be perfect? Insights from extreme value theory. *IEEE Trans. Med. Imaging.* 2019; 38: 99–106.
<https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2856464>
 45. Japanese Structure Survey of Radiation Oncology in 2019 (First Report). 2022/11/28. https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/data_center/JASTRO_NSS_2019-01.pdf
 46. Liu X., Li K.W., Yang R., Geng L.S. Review of Deep Learning Based Automatic Segmentation for Lung Cancer Radiotherapy. *Front. Oncol.* 2021; 11: 717039.
<https://doi.org/10.3389/fonc.2021.717039>
 47. Vrtovec T., Močnik D., Strojani P. et al. Auto-segmentation of organs at risk for head and neck radiotherapy planning: From atlas-based to deep learning methods. *Med. Phys.* 2020; 47 (9): e929–e950.
<https://doi.org/10.1002/mp.14320>
 48. Kneepkens E., Bakx N., van der Sangen M. et al. Clinical evaluation of two AI models for automated breast cancer plan generation. *Radiat. Oncol.* 2022; 17 (1): 25.
<https://doi.org/10.1186/s13014-022-01993-9>
 49. Li G., Wu X., Ma X. Artificial intelligence in radiotherapy. *Semin. Cancer Biol.* 2022; 86 (Pt 2): 160–171.
<https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2022.08.005>
 50. Sumida I., Magome T., Kitamori H. et al. Deep convolutional neural network for reduction of contrast-enhanced region on CT images. *J. Radiat. Res.* 2019; 60 (5): 586–594. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrz030>
 51. Fh T., Cyw C., Eyw C. Radiomics AI prediction for head and neck squamous cell carcinoma (HNSCC) prognosis and recurrence with target volume approach. *B.J.R. Open.* 2021; 3 (1): 20200073.
<https://doi.org/10.1259/bjro.20200073>
 52. Bang C., Bernard G., Le W.T. et al. Artificial intelligence to predict outcomes of head and neck radiotherapy. *Clin. Transl. Radiat. Oncol.* 2023; 39: 100590.
<https://doi.org/10.1016/j.ctro.2023.100590>
 53. Liang Z.-G., Tan H.Q., Zhang F. et al. Comparison of radiomics tools for image analyses and clinical prediction in nasopharyngeal carcinoma. *Br. J. Radiol.* 2019; 92 (1102): 20190271. <https://doi.org/10.1259/bjr.20190271>
 54. Chen N.-B., Xiong M., Zhou R. et al. CT radiomics-based longterm survival prediction for locally advanced non-small cell lung cancer patients treated with concurrent chemoradiotherapy using features from tumor and tumor organismal environment. *Radiat. Oncol.* 2022; 17 (1): 184.
<https://doi.org/10.1186/s13014-022-02136-w>
 55. Astaraki M., Wang C., Buizza G. et al. Early survival prediction in non-small cell lung cancer from PET/CT images using an intratumor partitioning method. *Phys. Med.* 2019; 60: 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2019.03.024>
 56. Zhang N., Liang R., Gensheimer M.F. et al. Early response evaluation using primary tumor and nodal imaging features to predict progression-free survival of locally advanced non-small cell lung cancer. *Theranostics.* 2020; 10: 11707–10718. <https://doi.org/10.7150/thno.50565>
 57. Huang Z., Hu C., Chi C. et al. An Artificial Intelligence Model for Predicting 1-Year Survival of Bone Metastases in Non-Small-Cell Lung Cancer Patients Based on XGBoost Algorithm. *Biomed. Res. Int.* 2020; 2020: 3462363. <https://doi.org/10.1155/2020/3462363>
 58. Du R., Lee V.H., Yuan H. et al. Radiomics Model to Predict Early Progression of Nonmetastatic Nasopharyngeal Carcinoma after Intensity Modulation Radiation Therapy: A Multicenter Study. *Radiol. Artif. Intell.* 2019; 1 (4): e180075. <https://doi.org/10.1148/ryai.2019180075>
 59. De Felice F., Valentini V., De Vincentiis M. et al. Prediction of Recurrence by Machine Learning in Salivary Gland Cancer Patients After Adjuvant (Chemo)Radiotherapy. *In Vivo (Athens, Greece)* 2021; 35 (6): 3355–3360.
<https://doi.org/10.21873/invivo.12633>
 60. Lee S., Kerns S., Ostrer H. et al. Machine Learning on a Genome-wide Association Study to Predict Late Genitourinary Toxicity After Prostate Radiation Therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2018; 101 (1): 128–135.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2018.01.054>
 61. Tian Z., Yen A., Zhou Z. et al. A machine-learning-based prediction model of fistula formation after interstitial brachytherapy for locally advanced gynecological malignancies. *Brachytherapy.* 2019; 18 (4): 530–538.
<https://doi.org/10.1016/j.brachy.2019.04.004>
 62. van Velzen S.G.M., Gal R., Teske A.J. et al. AI-Based Radiation Dose Quantification for Estimation of Heart Disease Risk in Breast Cancer Survivors After Radiation Therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2022; 112 (3): 621–632. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2021.09.008>
 63. Tabl A.A., Alkhateeb A., ElMaraghy W. et al. A Machine Learning Approach for Identifying Gene Biomarkers Guiding the Treatment of Breast Cancer. *Front. Genet.* 2019; 10: 256. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00256>
 64. Ubaldi L., Valenti V., Borgese R.F. et al. Strategies to develop radiomics and machine learning models for lung cancer stage and histology prediction using small data samples. *Phys. Med.* 2021; 90: 13–22.
<https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.08.015>
 65. Kawahara D., Murakami Y., Tani S., Nagata Y. A prediction model for degree of differentiation for resectable locally advanced esophageal squamous cell carcinoma based on CT images using radiomics and machine-learning. *Br. J. Radiol.* 2021; 94 (1124): 20210525.
<https://doi.org/10.1259/bjr.20210525>
 66. Lou B., Doken S., Zhuang T. et al. An image-based deep learning framework for individualising radiotherapy dose: a retrospective analysis of outcome prediction. *Lancet Digit. Health.* 2019; 1 (3): e136–e147.
[https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(19\)30058-5](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(19)30058-5)



67. Wu S., Jiao Y., Zhang Y. et al. Imaging-Based Individualized Response Prediction Of Carbon Ion Radiotherapy For Prostate Cancer Patients. *Cancer Manag. Res.* 2019; 11: 9121–9131. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S214020>
68. Haak H.E., Gao X., Maas M. et al. The use of deep learning on endoscopic images to assess the response of rectal cancer after chemoradiation. *Surg. Endosc.* 2022; 36 (5): 3592–3600. <https://doi.org/10.1007/s00464-021-08685-7>
69. Osman S.O.S., Leijenaar R.T.H., Cole A.J. et al. Computed Tomography-based Radiomics for Risk Stratification in Prostate Cancer. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2019; 105 (2): 448–456. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2019.06.2504>
70. Yang Z., Olshevsky D., He K. et al. Machine learning and statistical prediction of the quality of life of patients after prostate radiation therapy. *Comput. Biol. Med.* 2021; 129: 104127. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2020.104127>
71. Kawamura M., Kamomae T., Yanagawa M. et al. Revolutionizing radiation therapy: the role of AI in clinical practice. *J. Radiat. Res.* 2024; 65 (1): 1–9. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrad090>
72. Shin J., Seo N., Baek S.-E. et al. MRI radiomics model predicts pathologic complete response of rectal cancer following chemoradiotherapy. *Radiology.* 2022; 303: 351–358. <https://doi.org/10.1148/radiol.211986>
73. Shaish H., Aukerman A., Vanguri R. et al. Radiomics of MRI for pretreatment prediction of pathologic complete response, tumor regression grade, and neoadjuvant rectal score in patients with locally advanced rectal cancer undergoing neoadjuvant chemoradiation: an international multicenter study. *Eur. Radiol.* 2020; 30: 6263–6273. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06968-6>
74. Cui Y., Yang X., Shi Z. et al. Radiomics analysis of multiparametric MRI for prediction of pathological complete response to neoadjuvant chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer. *Eur. Radiol.* 2019; 29: 1211–1220. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5683-9>
75. Thompson R.F., Valdes G., Fuller C.D. et al. Artificial intelligence in radiation oncology: A specialty-wide disruptive transformation? *Radiother. Oncol.* 2018; 129 (3): 421–426. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2018.05.030>
76. Smith M.J., Bean S. AI and Ethics in Medical Radiation Sciences. *J. Med. Imaging Radiat. Sci.* 2019; 50 (4, Suppl. 2): S24–S26. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2019.08.005>

Для корреспонденции*: Паншин Георгий Александрович – e-mail: g.a.panshin@mail.ru

Паншин Георгий Александрович – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии и комплексных методов лечения онкологических заболеваний ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1106-6358>.

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; заместитель директора по научной работе, профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>.

Contact*: Georgy A. Panshin – e-mail: g.a.panshin@mail.ru

Georgy A. Panshin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Radiation Therapy and Integrated Methods of Treatment of Cancer Diseases, Research Department of Integrated Disease Diagnostics and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology. <https://orcid.org/0000-0003-1106-6358>

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of the Research Department for Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Roentgenoradiology and Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Oncology and Radiology, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>